

## Efectos de diversas modalidades de *feedback* en el aprendizaje de una tarea motora compleja en el fútbol

Marc Quintana Recasens

<http://hdl.handle.net/10803/667469>

**ADVERTIMENT.** L'accés als continguts d'aquesta tesi doctoral i la seva utilització ha de respectar els drets de la persona autora. Pot ser utilitzada per a consulta o estudi personal, així com en activitats o materials d'investigació i docència en els termes establerts a l'art. 32 del Text Refós de la Llei de Propietat Intel·lectual (RDL 1/1996). Per altres utilitzacions es requereix l'autorització prèvia i expressa de la persona autora. En qualsevol cas, en la utilització dels seus continguts caldrà indicar de forma clara el nom i cognoms de la persona autora i el títol de la tesi doctoral. No s'autoritza la seva reproducció o altres formes d'explotació efectuades amb finalitats de lucre ni la seva comunicació pública des d'un lloc aliè al servei TDX. Tampoc s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant als continguts de la tesi com als seus resums i índexs.

**ADVERTENCIA.** El acceso a los contenidos de esta tesis doctoral y su utilización debe respetar los derechos de la persona autora. Puede ser utilizada para consulta o estudio personal, así como en actividades o materiales de investigación y docencia en los términos establecidos en el art. 32 del Texto Refundido de la Ley de Propiedad Intelectual (RDL 1/1996). Para otros usos se requiere la autorización previa y expresa de la persona autora. En cualquier caso, en la utilización de sus contenidos se deberá indicar de forma clara el nombre y apellidos de la persona autora y el título de la tesis doctoral. No se autoriza su reproducción u otras formas de explotación efectuadas con fines lucrativos ni su comunicación pública desde un sitio ajeno al servicio TDR. Tampoco se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al contenido de la tesis como a sus resúmenes e índices.

**WARNING.** The access to the contents of this doctoral thesis and its use must respect the rights of the author. It can be used for reference or private study, as well as research and learning activities or materials in the terms established by the 32nd article of the Spanish Consolidated Copyright Act (RDL 1/1996). Express and previous authorization of the author is required for any other uses. In any case, when using its content, full name of the author and title of the thesis must be clearly indicated. Reproduction or other forms of for profit use or public communication from outside TDX service is not allowed. Presentation of its content in a window or frame external to TDX (framing) is not authorized either. These rights affect both the content of the thesis and its abstracts and indexes.

## TESIS DOCTORAL

Título Efectos de diversas modalidades de *feedback* en el aprendizaje de una tarea motora compleja en el fútbol

Realizada por Marc Quintana Recasens

en el Centro Facultat de Psicologia, Ciències de l'Educació i de l'Esport  
Blanquerna

y en el Departamento Ciències de l'Activitat Física i de l'Esport

Dirigida por Dr. Bernat Buscà Safont-Tria



# AGRADECIMIENTOS

Para ti, Laura, mi compañera de viaje, seguramente la persona que más has sentido este camino. Nos ha quitado mucho tiempo, un tiempo que no sé si podremos recuperar. Lo que sí sé es que sin tu generosidad, comprensión y amor me hubiera sido imposible llegar hasta el final. Gracias por estar a mi lado y por permitirme estar a tu lado.

Al Dr. Bernat Buscà, por guiarme en este proceso. Profesional como pocos que siempre ha estado atento y dispuesto para apuntillar de manera magistral este trabajo. Un amigo dentro y fuera de las aulas.

A Éric. Sin tu paciencia con mi inglés, poco hubiera podido avanzar. Siempre disponible y accesible, un apoyo sin parangón. ¡Tíos así, pocos!

A la BARÇA Academy y a su director técnico, por la confianza mostrada al dejarme llevar a cabo esta investigación.

A la Facultat de Psicologia, Ciències de l'Educació i de l'Esport Blanquerna y a la Universitat Ramon Llull, por permitirme cursar el doctorado.

Al profesorado de la facultad, por su ayuda desinteresada y sus aportaciones magistrales.



# RESUMEN

Esta tesis doctoral se centra en el efecto agudo del *feedback* visual en vídeo de alta velocidad en el aprendizaje de una habilidad motora compleja en diferentes edades. El marco de referencia reseña el rol del *feedback* en las teorías del aprendizaje motor, diferenciándolo en *feedback* intrínseco y extrínseco a través de sus modalidades, y ahonda en su efecto en el aprendizaje observacional, visionándolo a velocidad real y a cámara lenta. Al mismo tiempo, conceptualiza el término “habilidad motora”, profundizando en su especificidad hasta llegar a la habilidad técnica, habilidad motora compleja propia del deporte. La habilidad técnica del chute en el fútbol se acoge como ejemplo de esta última y se concretan las variables biomecánicas de su patrón de ejecución para realizarlo veloz y preciso. Para llevar a cabo la investigación, se realizó un experimento en el que el participante debía chutar una pelota en movimiento hacia una diana objetivo. De esta habilidad motora compleja se valoró la estabilidad del coeficiente de variación de las variables biomecánicas y el rendimiento obtenido de la combinación de la velocidad de desplazamiento de la pelota y la precisión del lanzamiento en función de la edad del sujeto. Durante la realización del experimento se suministró al grupo experimental, entre un ensayo y otro, *feedback* visual en vídeo de alta velocidad y verbal. Se comprobó su efecto agudo en el aprendizaje motor en adolescentes (Estudio 1), en niños (Estudio 2) y entre ambos grupos (Estudio 3). También se comparó con el *feedback* visual en vídeo a velocidad real (Estudio 2). Los resultados indican que el *feedback* visual en vídeo de alta velocidad tiene un efecto agudo positivo en el rendimiento en la fase práctica tanto en

adolescentes como en niños, mostrando un mayor impacto en el segundo grupo. Este no se mantiene en la fase retención, siendo el efecto agudo del *feedback* visual en vídeo a velocidad real el que obtiene mejores resultados. Del mismo modo, también modifica el patrón motor de la habilidad técnica del chute. La estabilidad del coeficiente de variación de las variables biomecánicas varía según el grupo de edad.

**Palabras clave:** aprendizaje motor agudo, *feedback* visual en vídeo de alta velocidad, habilidad motora compleja, edad, fútbol

# RESUM

Aquesta tesi doctoral se centra en l'efecte agut del *feedback* visual en vídeo d'alta velocitat en l'aprenentatge d'una habilitat motora complexa en diferents edats. El marc de referència exposa el rol del *feedback* en les teories de l'aprenentatge motor, diferenciant-lo en *feedback* intrínsec i extrínsec a través de les seves modalitats, i aprofundeix en el seu efecte en l'aprenentatge observacional visionant-lo a velocitat real i a càmera lenta. Al mateix temps, conceptualitza el terme "habilitat motora", profunditzant en la seva especificitat fins a arribar a l'habilitat tècnica, habilitat motora complexa pròpia de l'esport. L'habilitat tècnica del xut en el futbol s'acull com a exemple d'aquesta última i es concreten les variables biomecàniques del seu patró d'execució per realitzar-lo veloç i precís. Per portar a terme la investigació es va realitzar un experiment en el qual el participant havia de xutar una pilota en moviment cap a una diana objectiu. D'aquesta habilitat motora complexa es va valorar l'estabilitat del coeficient de variació de les variables biomecàniques i el rendiment obtingut de la combinació de la velocitat de desplaçament de la pilota i la precisió del llançament en funció de l'edat del subjecte. Durant la realització de l'experiment es va subministrar *feedback* visual en vídeo d'alta velocitat i verbal entre intents al grup experimental. Es va comprovar el seu efecte agut en l'aprenentatge motor en adolescents (Estudi 1), en nens (Estudi 2) i entre ambdós grups (Estudi 3). També es va comparar amb el *feedback* visual en vídeo a velocitat real (Estudi 2). Els resultats indiquen que el *feedback* visual en vídeo d'alta velocitat té un efecte agut positiu en el rendiment en la fase pràctica tant en adolescents com en nens, mostrant un major impacte

en el segon grup. Aquest no es manté en la fase de retenció, sent l'afecte agut del *feedback* visual en vídeo a velocitat real el que obté millors resultats. De la mateixa manera, també modifica el patró motor de l'habilitat tècnica del xut. L'estabilitat del coeficient de variació de les variables biomecàniques varia segons el grup d'edat.

**Paraules clau:** aprenentatge motor agut, *feedback* visual en vídeo d'alta velocitat, habilitat motora complexa, edat, futbol

# ABSTRACT

This PhD dissertation is focused on the acute effect of high-speed video visual feedback in the learning process of a complex motor skill at different ages. The theoretical framework emphasizes the role of feedback in motor learning theories, making a clear distinction between intrinsic and extrinsic feedback according to its characteristics, and explores its effect on observational learning depending on whether it is used in real or slow motion. At the same time, it defines the notion of complex motor skill, looking into the concept of “technical skill”, a specific sport’s complex motor skill. This research proposes football kicking as an example of this motor skill and offers a description of the different biomechanical variables at stake in the execution pattern of powerful and precise kicking. In order to conduct the investigation, a test was designed in which a participant had to put into practice the complex motor skill of kicking towards a target. In the present study, the stability of motor pattern based on the lack of variation of certain biomechanical variables, and the performance resulting from the speed of the ball as well as the accuracy of the kick and depending on the age of the subject, were assessed. During the execution of the task each experimental group was provided with high-speed video visual feedback as well as verbal feedback, between trials. The acute effects of such types of feedback upon motor learning among teenagers (Study 1), kids (Study 2) and both groups (Study 3) was demonstrated. This impact was also compared with real speed video feedback (Study 2). The results indicate that high-speed video visual feedback has an acute positive effect on the performance during the practice phase on both teenagers and children, yet with a greater impact

on the second group. However, this effect did not occur in the retention phase, during which real speed video feedback provides the best results. Similarly, it also modifies the motor pattern of the kicking technical skill. The motor pattern stability of the biomechanical variables varies depending on the age group.

**Keywords:** acute motor learning, high-speed video visual feedback, complex motor skill, age, football

# ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>III</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>V</b>
<b>RESUM .....</b>	<b>VII</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE .....</b>	<b>XI</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>XXI</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>XXIII</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS Y GLOSARIO .....</b>	<b>XXVII</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....</b>	<b>9</b>
Objetivo general .....	9
Objetivos específicos.....	9
Del Capítulo 1.....	10

Del Capítulo 2.....	10
Del Capítulo 3.....	11
Del Capítulo 4.....	11
Del Capítulo 5.....	12
Del Capítulo 6.....	12
Del Capítulo 7.....	13
Del Capítulo 8.....	13
Hipótesis.....	14
Del Estudio 1 .....	14
Del Estudio 2 .....	14
Del Estudio 3 .....	15
<b>PARTE TEÓRICA.....</b>	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO 1. EL <i>FEEDBACK</i> Y LAS TEORÍAS DEL APRENDIZAJE MOTOR.....</b>	<b>19</b>
1.1. El <i>feedback</i> desde la perspectiva de procesamiento de la información.....	22
1.1.1. La teoría del circuito cerrado.....	23

1.1.2. La teoría del esquema.....	25
1.2. El <i>feedback</i> desde la perspectiva de la psicología ecológica y las condiciones de práctica .....	29
1.3. El <i>feedback</i> desde la perspectiva de la motivación y la atención de la conducta motora .....	34
<b>CAPÍTULO 2. EL <i>FEEDBACK</i> DE VÍDEO EN EL APRENDIZAJE MOTOR .....</b>	<b>43</b>
2.1. Bases neurofisiológicas del aprendizaje observacional.....	44
2.2. Aprender a través de un modelo.....	49
2.2.1. Aprender mediante la observación de un modelo sin práctica física .....	50
2.2.2. Aprender mediante la observación y la práctica física.....	52
2.3. La información observada.....	57
2.3.1. El <i>feedback</i> visual intrínseco .....	62
2.3.2. El <i>feedback</i> visual extrínseco .....	67
2.3.2.1. El conocimiento de los resultados .....	71
2.3.2.2. El conocimiento de la ejecución.....	73
2.4. Efectos del <i>feedback</i> visual en vídeo en el aprendizaje motor.....	76

2.4.1. Efectos del <i>feedback</i> visual en vídeo a tiempo real .....	78
2.4.2. Efectos del <i>feedback</i> visual en vídeo a cámara lenta.....	91
<b>CAPÍTULO 3. LA HABILIDAD TÉCNICA DEL CHUTE EN EL FÚTBOL.....</b>	<b>105</b>
3.1. Las habilidades motoras. Concepto, análisis y clasificación.....	106
3.1.1. En base al contexto de aprendizaje.....	107
3.1.2. En base a la habilidad motora aprendida .....	109
3.1.3. En base al aprendiz que realiza la habilidad.....	111
3.2. La complejidad de la habilidad motora. Entorno, tiempo y grados de libertad .....	113
3.3. Habilidad motora y técnica deportiva .....	115
3.3.1. La técnica como habilidad motora específica .....	116
3.3.2. La técnica como ejecución eficaz y eficiente .....	117
3.4. La técnica de ejecución del chute.....	119
3.4.1. Parámetros funcionales para realizar un chute veloz .....	122
3.4.2. Parámetros funcionales para realizar un chute preciso.....	126
<b>PARTE EMPÍRICA.....</b>	<b>129</b>

**CAPÍTULO 4. EFECTOS AGUDOS DEL *FEEDBACK* VISUAL EN VÍDEO DE ALTA VELOCIDAD SOBRE EL APRENDIZAJE Y LOS PARÁMETROS DE RENDIMIENTO EN EL CHUTE A PORTERÍA EN ADOLESCENTES ..... 131**

4.1. Introducción .....	131
4.2. Material y método .....	138
4.2.1. Sujetos .....	138
4.2.2. Aspectos éticos .....	139
4.2.3. Procedimiento.....	140
4.2.3.1. Instrumentos .....	140
4.2.3.2. Tarea y configuración.....	142
4.2.3.3. Diseño.....	146
4.2.3.4. Análisis de los datos .....	152
4.2.3.5. Análisis estadístico .....	156
4.3. Resultados .....	157
4.4. Discusión.....	161
4.4.1. Discusión de los resultados .....	161

4.4.2. Discusión del método .....	165
<b>CAPÍTULO 5. EFECTOS SOBRE EL APRENDIZAJE MOTOR DEL <i>FEEDBACK</i> VISUAL EN VÍDEO Y DE LA VELOCIDAD EN LA DESESTABILIZACIÓN DEL PATRÓN MOTOR Y EL RENDIMIENTO DEL CHUTE EN JUGADORES DE FÚTBOL U10.....</b>	<b>169</b>
5.1. Introducción .....	169
5.2. Material y método .....	174
5.2.1. Sujetos .....	174
5.2.2. Aspectos éticos .....	175
5.2.3. Procedimiento.....	175
5.2.3.1. Instrumentos .....	175
5.2.3.2. Tarea y configuración.....	176
5.2.3.3. Descripción.....	178
5.2.3.4. Análisis de los datos .....	179
5.2.3.5. Análisis estadístico .....	181
5.3. Resultados .....	182

5.3.1. Rendimiento del chute.....	182
5.3.2. Desestabilización del movimiento.....	185
5.4. Discusión.....	187
5.4.1. Discusión de los resultados .....	187
5.4.2. Discusión del método .....	194
<b>CAPÍTULO 6. ANÁLISIS COMPARATIVO DEL EFECTO DEL <i>FEEDBACK</i> VISUAL EN VÍDEO DE ALTA VELOCIDAD EN NIÑOS Y ADOLESCENTES .....</b>	<b>195</b>
6.1. Introducción .....	195
6.2. Material y método .....	200
6.2.1. Sujetos .....	200
6.2.2. Aspectos éticos .....	200
6.2.3. Procedimiento.....	201
6.2.3.1. Instrumentos .....	201
6.2.3.2. Tarea y configuración.....	201
6.2.3.3. Diseño.....	202

6.2.3.4. Análisis de los datos .....	203
6.2.3.5. Análisis estadístico .....	204
6.3. Resultados .....	205
6.3.1. Rendimiento del chute .....	205
6.3.2. Desestabilización del movimiento.....	206
6.4. Discusión.....	207
<b>CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN GENERAL.....</b>	<b>213</b>
7.1. <i>Feedback</i> visual en vídeo de alta velocidad, cantidad de práctica y rendimiento.....	213
7.2. Desestabilización del patrón motor y tipos de <i>feedback</i> .....	216
7.3. Retención del aprendizaje con y sin <i>feedback</i> .....	218
7.4. Edad y efectos del <i>feedback</i> visual sobre la desestabilización del patrón motor .....	220
<b>CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES.....</b>	<b>225</b>
8.1. Del Capítulo 1 .....	225
8.2. Del Capítulo 2 .....	226
8.3. Del Capítulo 3 .....	227

8.4. Del Capítulo 4 .....	227
8.5. Del Capítulo 5 .....	228
8.6. Del Capítulo 6 .....	229
8.7. Aplicaciones prácticas .....	231
8.8. Futuras líneas de investigación.....	234
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>237</b>



# ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 4-1.</b> Descripción de los periodos del chute y las variables asociadas. ....	154
<b>Tabla 4-2.</b> Sistema de puntuación integrado TSCORE en adolescentes. ....	155
<b>Tabla 4-3.</b> Inferencias de la comparación por grupos (FEEDBACK y NON FEEDBACK) basadas en las magnitudes del tamaño del efecto. ....	158
<b>Tabla 4-4.</b> Estabilización del movimiento por el efecto del <i>feedback</i> visual en vídeo de alta velocidad entre el grupo FEEDBACK y NON FEEDBACK. ....	160
<b>Tabla 5-1.</b> Sistema de puntuación integrado TSCORE en niños. ....	181



# ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 0-1.</b> Evolución comercial de las cámaras de vídeo de alta velocidad.....	2
<b>Figura 0-2.</b> Visualización de pantalla múltiple extraída de un informe con la imagen retocada para acentuar las posiciones clave y el movimiento. ....	4
<b>Figura 0-3.</b> Entrenamiento televisado: La última revolución de Nagelsmann.....	5
<b>Figura 1-1.</b> Periodos históricos .....	20
<b>Figura 1-2.</b> Las teorías del aprendizaje motor.....	22
<b>Figura 1-3.</b> Representación esquemática de la teoría del esquema de Schmidt.....	28
<b>Figura 1-4.</b> Representación gráfica del paradigma no lineal de la coordinación dinámica ...	30
<b>Figura 1-5.</b> Comparativa gráfica del modelo HKB inicial y actual .....	32
<b>Figura 1-6.</b> Teoría de la autoorganización .....	34
<b>Figura 1-7.</b> Activación EMG del músculo agonista y antagonista con y sin libertad de movimiento de la articulación del codo .....	36

<b>Figura 1-8.</b> Teoría OPTIMAL.....	38
<b>Figura 2-1.</b> Localización topográfica del sistema de las neuronas espejo en el cerebro humano .....	45
<b>Figura 2-2.</b> Fotogramas representados a través de puntos de luz.....	55
<b>Figura 2-3.</b> Tipos de <i>feedback</i> .....	58
<b>Figura 2-4.</b> Tipos de <i>feedback</i> extrínseco no verbal .....	61
<b>Figura 2-5.</b> Diagrama de un objeto esférico acercándose a velocidad constante al ojo.....	63
<b>Figura 2-6.</b> El modelo de cancelación óptica .....	66
<b>Figura 2-7.</b> Habilidad motora de fútbol.....	102
<b>Figura 3-1.</b> La montaña del desarrollo motor.....	117
<b>Figura 3-2.</b> Cinemática del golpeo del balón con el pie en un lanzamiento de penalti.....	121
<b>Figura 3-3.</b> Fluctuación de la velocidad angular de las articulaciones de la pierna de impacto antes del contacto con el balón.....	126

<b>Figura 4-1.</b> Cámara de vídeo de alta velocidad Casio® EXILIM EX F1 .....	141
<b>Figura 4-2.</b> Lona utilizada en el test.....	141
<b>Figura 4-3.</b> Dispositivo lanza pelotas utilizado en el test.....	142
<b>Figura 4-4.</b> Configuración real del test del Estudio 1 .....	144
<b>Figura 4-5.</b> Esquema gráfico de la configuración del test del Estudio 1.....	145
<b>Figura 4-6.</b> Fases de la habilidad técnica del chute.....	151
<b>Figura 4-7.</b> Media $\pm$ desviación estándar de las variables biomecánicas por parejas (FEEDBACK vs. NON FEEDBACK).....	159
<b>Figura 5-1.</b> Esquema gráfico de la configuración del test del Estudio 2.....	177
<b>Figura 5-2.</b> Media TSCORE para los grupos SMVF, NVF y NF.....	184
<b>Figura 5-3.</b> CV medio de las variables biomecánicas .....	186
<b>Figura 6-1.</b> TSCORE total para los grupos CSMVF, TSMVF, CNF y TNF.....	205
<b>Figura 6-2.</b> TSCORE medio por bloque para los grupos CSMVF, TSMVF, CNF y TNF...	206

**Figura 6-3.** CV medio de las variables temporales. .... 207

# LISTA DE ABREVIATURAS Y GLOSARIO

**AA1:** Ángulo del tobillo perteneciente al periodo de apoyo formado por la proyección de la línea perpendicular a la tibia y la línea longitudinal del pie (variable biomecánica del Estudio 2).

**AA2:** Ángulo del tobillo perteneciente al periodo de interacción pie-pelota formado por la proyección de la línea perpendicular a la tibia y la línea longitudinal del pie (variable biomecánica del Estudio 2).

**ACC:** Precisión del chute.

**ANOVA:** Análisis de la varianza en medidas repetidas.

**ARTST:** *Avery Richardson Tennis Service Test.*

**ATIME:** Tiempo transcurrido en el periodo de aproximación desde el inicio del primer paso hacia el balón hasta el contacto del pie de apoyo con el suelo (variable biomecánica del Estudio 1, 2 y 3).

**BI:** Ángulo de inclinación del cuerpo perteneciente al periodo de interacción pie-pelota formado por la sínfisis púbica, el maléolo lateral y la línea descrita por el plano vertical (variable biomecánica del Estudio 1).

**CNF:** Niños sin *feedback* visual en vídeo de alta velocidad (grupo de investigación del Estudio 3).

**CoM:** Centro de masas.

**CSMVF:** Niños con *feedback* visual en vídeo de alta velocidad (grupo de investigación del Estudio 3).

**CV:** Coeficiente de variación.

**DRAM:** *Dynamic Random-Access Memory*.

**DTIME:** Tiempo de descenso de la pierna de chute transcurrido en el periodo de apoyo entre el contacto del pie de soporte con el suelo hasta el impacto con la pelota (variable biomecánica del Estudio 1, 2 y 3).

**EMG:** Electromiografía.

**ES:** Tamaño del efecto.

**FBD:** Distancia perteneciente al periodo de apoyo entre el pie de soporte y la pelota (variable biomecánica del Estudio 1).

**fps:** Fotogramas por segundo.

**HA1:** Ángulo de la cadera perteneciente al periodo de apoyo formado por la línea longitudinal del fémur y la proyección de la línea ilíaca (variable biomecánica del Estudio 2).

**HA2:** Ángulo de la cadera perteneciente al periodo de interacción pie-pelota formado por la línea longitudinal del fémur y la proyección de la línea ilíaca (variable biomecánica del Estudio 2).

**HFA:** Ángulo perteneciente al periodo de apoyo formado por la sínfisis púbica, la rótula de la extremidad de apoyo y la rótula de la extremidad que golpea el balón (variable biomecánica del Estudio 1).

**HKB:** Haken, Kelso y Bunz.

**HSA1:** Ángulo perteneciente al periodo de apoyo formado por la espina ilíaca anterior superior, el trocánter mayor y el tubérculo tibial anterolateral (variable biomecánica del Estudio 1).

**HSA2:** Ángulo perteneciente al periodo de interacción pie-pelota formado por la espina ilíaca anterior superior, el trocánter mayor y el tubérculo tibial anterolateral (variable biomecánica del Estudio 1).

**ICC:** Coeficiente de correlación intraclases.

**IRMf:** Imagen por resonancia magnética funcional.

**KA1:** Ángulo de la rodilla perteneciente al periodo de apoyo formado por la proyección de la línea longitudinal del fémur y la línea longitudinal de la tibia (variable biomecánica del Estudio 2).

**KA2:** Ángulo de la rodilla perteneciente al periodo de interacción pie-pelota formado por la proyección de la línea longitudinal del fémur y la línea longitudinal de la tibia (variable biomecánica del Estudio 2).

**KSA1:** Ángulo perteneciente al periodo de apoyo formado por el trocánter mayor, la cabeza del peroné y el maléolo lateral (variable biomecánica del Estudio 1).

**KSA2:** Ángulo perteneciente al periodo de interacción pie-pelota formado por el trocánter mayor, la cabeza del peroné y el maléolo lateral (variable biomecánica del Estudio 2).

**LSTIME:** Tiempo transcurrido en el periodo de aproximación entre el contacto con el suelo justo al iniciarse el último paso dado hasta nuevamente el primer contacto del pie de soporte (variable biomecánica del Estudio 1).

**MANOVA:** Análisis multivariante de la varianza.

**NF:** Niños sin *feedback* (grupo de investigación del Estudio 2).

**NVF:** Niños con *feedback* visual en vídeo a velocidad real (grupo de investigación del Estudio 2).

**OPTIMAL:** *Optimizing performance through intrinsic motivation and attention for learning.*

**SA:** Ángulo de soporte perteneciente al periodo de interacción pie-pelota formado por la proyección vertical del centro de gravedad y la línea formada por la unión del centro de gravedad y el punto de contacto del pie de soporte (variable biomecánica del Estudio 2).

**SMVF:** Niños con *feedback* visual en vídeo de alta velocidad a cámara lenta (grupo de investigación del Estudio 2).

**SWC:** *Smallest worthwhile change.*

**TNF:** Adolescentes sin *feedback* visual en vídeo de alta velocidad (grupo de investigación del Estudio 3).

**TSCORE:** Integración de la velocidad y exactitud del chute considerando la media y la desviación estándar para todas las velocidades (variable biomecánica del Estudio 1, 2 y 3).

**TSMVF:** Adolescentes con *feedback* visual en vídeo de alta velocidad (grupo de investigación del Estudio 3).

**VEL:** Velocidad de desplazamiento.

**$\tau$ :** Expansión del objeto en movimiento.

# INTRODUCCIÓN

El impacto social de la práctica deportiva ha incrementado de forma exponencial en los últimos años. Los sistemas deportivos generan un sector económico inmenso y condicionan, de forma regular y sistemática, el modo de vida de miles de familias e individuos en todo el mundo. Más recientemente, la revolución tecnológica se ha hecho evidente para los participantes, practicantes y espectadores del deporte por igual. Hoy en día, una parte importante del sector deportivo crea nuevas soluciones tecnológicas, sensores, *softwares* y aplicaciones para ofrecer a los usuarios mayor accesibilidad, control y motivación para realizar actividad física, practicar deporte y mantener hábitos saludables (Aniss, 2016; Haake, 2009). Paralelamente, en una sociedad plenamente inmersa en la sociedad de la información, las imágenes han supuesto una de las fuentes más importantes para el impulso del deporte a nivel mundial. Su utilización para comunicar, informar, enseñar e investigar ha potenciado el desarrollo de tecnología capaz de transmitir, de la manera más precisa posible, el acontecimiento sucedido durante el acto deportivo. La generación actual de cámaras de vídeo, las cuales utilizan la tecnología *Dynamic Random-Access Memory* (DRAM), capaz de guardar una gran cantidad de imágenes digitales de alta calidad disminuyendo el coste de almacenamiento por fotograma gracias a los avances en la electrónica y las características ópticas relacionadas con la resolución y la sensibilidad, han provocado la aparición de nuevos y sofisticados *gadgets* a un bajo coste, tamaño y peso (Figura 0-1). Debido a esto, el proceso de introducción del vídeo en la actividad física ha dado un salto cualitativo gracias, en parte, al uso de cámaras de vídeo de alta velocidad y el vídeo a

cámara lenta con fines de formación, aprendizaje motor y espectáculo, haciendo posible mejorar la experiencia observacional y de análisis de los movimientos deportivos (Lee, 2014).



**Figura 0-1. Evolución comercial de las cámaras de vídeo de alta velocidad (Buscà, Quintana y Padullés, 2016).**

Las imágenes representan una de las fuentes de información más importantes en el deporte. El entrenamiento deportivo y las ciencias del acondicionamiento utilizan imágenes y grabaciones de vídeo para una amplia gama de propósitos (Wilson, 2008). Asimismo, otras disciplinas envueltas en la misma materia, como las ciencias de la educación y los medios de comunicación deportivos, también las utilizan para sus propios fines, como mejorar la eficacia de los procesos de aprendizaje motor o aumentar la espectacularidad del deporte (Aniss, 2016). Con ello, las intervenciones de profesores y entrenadores, basadas en observaciones subjetivas de la habilidad motora, se han demostrado poco fiables e inexactas a causa de las dificultades de la observación *in situ*, las limitaciones de la memoria y los problemas de comunicación. Así, los mencionados problemas hacen imposible resaltar todos los acontecimientos significativos que han tenido lugar durante la ejecución (Franks y Miller, 1986, 1991; Laird y Waters, 2008), y es por este motivo por lo que los procesos de aprendizaje han sucumbido a la utilización de la imagen de vídeo como medio de *feedback* preferente. En este sentido, Liebermann et al.

(2002) consideran que el vídeo es una herramienta clave para obtener información cualitativa de la habilidad motora realizada. Destacan también que puede usarse tanto en etapas formativas, donde se prioriza el aprendizaje motor, como en el alto rendimiento, siendo ventajoso para la mayoría de los trabajos de campo. Del mismo modo, Wilson (2008) enfatiza en la necesidad subyacente de suministrar *feedback* extrínseco en la relación que se establece entre el instructor y el aprendiz, resaltando las siguientes ventajas del uso del vídeo como herramienta de *feedback* en el deporte (Figura 0-2):

- El vídeo es una herramienta que proporciona un registro objetivo de la actuación realizada. Permite observar los detalles de la habilidad motora, sobre todo aquellos que no pueden ser vistos fácilmente por los instructores en la ejecución en vivo. Usando varias cámaras de vídeo, se obtienen vistas diferentes del rendimiento del atleta. Además, con la reproducción a cámara lenta o congelando la imagen, se proporciona al entrenador la posibilidad de examinar el rendimiento de forma reiterada.
- Las imágenes de la ejecución pueden ayudar al instructor a convencer al aprendiz sobre aspectos del desempeño de la habilidad motora. Este hecho facilita la obtención de la misma percepción de un rendimiento después de examinar y discutir el vídeo, y permite verificar exactamente qué cambios se han producido en relación con ejecuciones anteriores.
- Las opciones de reproducción de vídeo, tales como la cámara lenta o congelar la imagen, permiten revisar y analizar todo el desempeño del atleta después del evento, mientras que durante la ejecución real el entrenador solo puede centrarse en un aspecto concreto.

Al mismo tiempo, mediante un ordenador se pueden presentar imágenes sincronizadas, una al lado de la otra, en la misma pantalla, con perspectivas diferentes, o imágenes de distintos intérpretes para facilitar la comparación.

- La cámara de vídeo se puede colocar en zonas donde el entrenador no puede estar y proporcionar una visión nueva y global de la habilidad motora realizada.
- El vídeo puede captar imágenes que el instructor no puede ver a simple vista. Las altas velocidades de obturación, el movimiento de parada y la capacidad de registrar un mayor número de imágenes pueden ayudar a capturar eventos críticos.



**Figura 0-2. Visualización de pantalla múltiple extraída de un informe con la imagen retocada para acentuar las posiciones clave y el movimiento (Wilson, 2008).**

El mundo del deporte de alto nivel se ha caracterizado por incorporar varios recursos tecnológicos para mejorar el rendimiento de los atletas. En esta línea, el análisis biomecánico del movimiento, la valoración funcional y bioquímica o el control de las cargas de entrenamiento han utilizado recursos tecnológicos de última generación para obtener datos precisos de los procesos de cambio y adaptación de los deportistas. Profesionales del deporte

como médicos, fisioterapeutas o preparadores físicos se han servido de esta información para mejorar su cometido. Los entrenadores deportivos, atendiendo a las posibilidades asociadas al uso del vídeo como herramienta para aportar *feedback*, han recurrido a este soporte para potenciar su labor. Es cada vez más usual observar pantallas gigantes con las que aportar el *feedback* a los deportistas en los entrenamientos de alto nivel (Figura 0-3). En niveles más bajos, los entrenadores de deporte de iniciación y tecnificación también emplean pantallas para dar *feedback* visual en vídeo a sus atletas, ya que el mercado ofrece opciones que incorporan cámaras de vídeo de última generación de alta calidad al alcance de todo el mundo.



**Figura 0-3. Romero, J. (2017, 6 de julio). Entrenamiento televisado: La última revolución de Nagelsmann. Diario Sport [en línea]. Disponible en: <https://www.sport.es/es/noticias/bundesliga/entrenamiento-televisado-ultima-revolucion-nagelsmann-6151282> [2018, 22 de abril].**

De esta manera, los recursos invertidos, así como las expectativas depositadas en el progreso y la superación personal, requieren de un nivel de competencia profesional muy alto

de todos los agentes implicados en el ámbito del deporte. Las escuelas deportivas, los clubes y los centros de tecnificación para el alto rendimiento invierten una gran cantidad de recursos económicos, materiales y humanos para formar deportistas competentes en las diversas disciplinas y actividades deportivas. Más allá de las consideraciones éticas sobre la utilización del tiempo o la generación de expectativas y el ofrecimiento de oportunidades de progresar, en este contexto existe un debate latente sobre la optimización de los procesos de aprendizaje motor, de las estrategias metodológicas y del tratamiento de la información durante la introducción, el desarrollo y el perfeccionamiento de las habilidades técnicas (Magill, 2011; Riera, 2005; Schmidt y Lee, 2011). Viendo todas las posibilidades que da la utilización del vídeo como herramienta para proporcionar *feedback* y su utilización masiva a todos los niveles, cabe preguntarse su relevancia real en el aprendizaje motor. En esta tesitura sobresale la utilización de la tecnología de vídeo de alta velocidad, la cual ha permitido verificar la velocidad y la plasticidad de las habilidades motoras. Este hecho ha mejorado la calidad de la imagen transmitida, ofreciendo una perspectiva más precisa de la habilidad motora. Tal circunstancia puede representar un avance significativo en el devenir del suministro del *feedback* para el aprendizaje motor. Este no es un hecho trivial, ya que la vida de los deportistas gira habitualmente entorno a la búsqueda de la excelencia en las habilidades técnicas de alta especificidad. Así, estos procesos requieren métodos e instrumentos contrastados científicamente que vayan más lejos de la simple aproximación empírica extraída de la práctica física, aun admitiendo que la diversidad de modalidades de *feedback* de vídeo existentes requieren de una explicación teórica y práctica que exponga cuál es el método más eficaz. La presente tesis se embarca en esta búsqueda. Utilizando la habilidad técnica del chute en el

fútbol, habilidad motora compleja realizada a alta velocidad, pretende aportar criterios cualitativos acerca de la asimilación y aplicación de la información transmitida a través del *feedback* visual en vídeo de alta velocidad en el aprendizaje motor en edades diversas comparado al del resto de modalidades. El conocimiento que proporciona la imagen de vídeo aportará luz sobre los mecanismos perceptivos, cognitivos y ejecutores implícitos en el uso de esta tecnología, y debería permitir la optimización de los procesos de aprendizaje y de entrenamiento en función del estado evolutivo de los aprendices.

---

# OBJETIVOS E HIPÓTESIS

Los objetivos de la tesis están divididos en generales y específicos. Junto a ellos, se muestran las hipótesis planteadas en la investigación.

## Objetivo general

La tesis reflexiona sobre la influencia del *feedback* visual en vídeo en el aprendizaje motor de una habilidad motora compleja en diferentes edades, centrandó su interés en el *feedback* visual en vídeo de alta velocidad y la habilidad técnica del chute en niños y adolescentes. Por eso, el objetivo es analizar las diferencias en el aprendizaje motor agudo de una habilidad motora compleja según la edad del aprendiz en función de la modalidad de *feedback* visual en vídeo empleada.

## Objetivos específicos

Los objetivos específicos se presentan separados por capítulos. Indican la finalidad perseguida en cada uno de ellos.

## Del Capítulo 1

El Capítulo 1 explica las diferentes teorías del aprendizaje motor. Del modelo de procesamiento de la información repasamos la teoría del circuito cerrado (Adams, 1971) y la teoría del esquema (Schmidt, 1975). Seguidamente nos focalizamos en la teoría de la autoorganización (Haken, Kelso y Bunz, 1985), vinculada a la psicología ecológica. Para finalizar, explicamos las características de la teoría *Optimizing Performance Through Intrinsic Motivation and Attention for Learning* (OPTIMAL) (Wulf y Lewthwaite, 2016), perspectiva nueva que explica el aprendizaje motor. El objetivo es conocer el rol del *feedback* en las diferentes teorías del aprendizaje motor.

## Del Capítulo 2

El Capítulo 2 se centra en el aprendizaje motor obtenido a través del aprendizaje observacional mediante el *feedback* visual en vídeo. Partiendo de las sugerencias reportadas por las teorías del aprendizaje motor respecto a la importancia del *feedback* en el proceso de aprendizaje y de la utilización de la imagen como herramienta para suministrarlo en el deporte, incurrimos en la interpretación del *feedback* visual intrínseco y del *feedback* visual extrínseco, incidiendo en las investigaciones realizadas en el ámbito del aprendizaje motor en base al *feedback* visual en vídeo a velocidad real y al *feedback* visual en vídeo a cámara lenta. Por lo tanto, los objetivos del capítulo son: a) averiguar los procesos neurológicos que regulan el

*feedback* visual en vídeo; b) diferenciar el *feedback* intrínseco del *feedback* extrínseco, y c) determinar las diferencias existentes en el aprendizaje motor según la velocidad de visionado del *feedback* visual en vídeo.

### **Del Capítulo 3**

El Capítulo 3 presenta la habilidad técnica del chute en el fútbol. Comprendida como la habilidad motora más relevante de este deporte, desgranamos los diferentes conceptos que interfieren en su concreción teórica para interpretarla como una habilidad motora compleja, descubriendo al mismo tiempo la diferencia entre habilidad motora básica, habilidad motora específica y habilidad técnica. Además, especificamos las fases que la componen y concretamos las características biomecánicas que permiten realizar un chute veloz y preciso. Por consiguiente, los objetivos de este capítulo son: a) determinar las características de una habilidad motora compleja; b) determinar las propiedades biomecánicas de la habilidad técnica del chute para que sea veloz, y c) determinar las propiedades biomecánicas de la habilidad técnica del chute para que sea preciso.

### **Del Capítulo 4**

El Capítulo 4 comprende el Estudio 1 de la tesis, titulado: *Efectos agudos del feedback visual en vídeo de alta velocidad sobre el aprendizaje y los parámetros de rendimiento en el*

*chute a portería en adolescentes*. En él se analizan las repercusiones inmediatas que tiene el *feedback* visual en vídeo de alta velocidad en la estabilidad del movimiento del chute y su rendimiento en jugadores de fútbol de 17 y 18 años. Así, el objetivo es determinar el efecto agudo que tiene el suministro de este tipo de *feedback* en la secuencia temporal del aprendizaje motor del chute en adolescentes.

## **Del Capítulo 5**

El Capítulo 5 aborda el Estudio 2 de la tesis, titulado: *Efectos sobre el aprendizaje motor del feedback visual en vídeo y de la velocidad en la desestabilización del patrón motor y el rendimiento del chute en jugadores de fútbol U10*. Añade el *feedback* visual en vídeo a velocidad real al objetivo planteado con el *feedback* visual en vídeo de alta velocidad en el Estudio 1, modificando la edad de los jugadores, que pasa a ser de 8 y 9 años. El objetivo es determinar el efecto agudo que tiene el suministro de *feedback* visual en vídeo de alta velocidad y a velocidad real en la secuencia temporal del aprendizaje motor del chute en niños.

## **Del Capítulo 6**

El Capítulo 6 corresponde al Estudio 3 de la tesis, titulado: *Análisis comparativo del efecto del feedback visual en vídeo de alta velocidad en niños y adolescentes*. En él se comparan los efectos agudos del *feedback* de vídeo en alta velocidad en la estabilidad del movimiento del

chute y su rendimiento en sujetos de distintas edades. El objetivo es determinar las semejanzas y diferencias del efecto agudo que tiene el suministro de este tipo de *feedback* de vídeo en la secuencia temporal del aprendizaje motor del chute entre niños y adolescentes.

## **Del Capítulo 7**

El Capítulo 7 constituye la discusión general de la tesis. De los resultados obtenidos, valoramos su posible explicación científica en función de las investigaciones realizadas sobre la temática por otros autores. Por lo cual, el objetivo es el de explicar de manera conjunta los resultados obtenidos en el Estudio 1, 2 y 3.

## **Del Capítulo 8**

El Capítulo 8 se estructura en las conclusiones, las aplicaciones prácticas y las futuras líneas de investigación.

## Hipótesis

### Del Estudio 1

- El grupo de adolescentes que recibe *feedback* visual en vídeo de alta velocidad obtiene mejores resultados en el ajuste de la precisión y la velocidad de la habilidad motora compleja del chute que el que no recibe *feedback*.
- El grupo de adolescentes que recibe *feedback* visual en vídeo de alta velocidad disminuye la variabilidad de las variables que determinan la ejecución motora del chute.

### Del Estudio 2

- El grupo de niños que recibe *feedback* visual en vídeo de alta velocidad obtiene mejores resultados en el ajuste de la precisión y la velocidad de la habilidad motora compleja del chute que el grupo que recibe *feedback* visual en vídeo a velocidad real y que el que no recibe *feedback*.
- El grupo de niños que recibe *feedback* visual en vídeo de alta velocidad disminuye más la variabilidad de las variables que determinan la ejecución motora del chute que el grupo que recibe *feedback* visual en vídeo a velocidad real y que el que no recibe *feedback*.

## Del Estudio 3

- El grupo de niños y adolescentes que recibe *feedback* visual en vídeo de alta velocidad obtiene mejores resultados en el ajuste de la precisión y la velocidad de la habilidad motora compleja del chute que el que no recibe *feedback*.
- El grupo de niños y adolescentes que recibe *feedback* visual en vídeo de alta velocidad disminuye más la variabilidad de las variables que determinan la ejecución motora del chute que el que no recibe *feedback*.
- El grupo de adolescentes que recibe *feedback* visual en vídeo de alta velocidad obtiene mejores resultados en el ajuste de la precisión y la velocidad de la habilidad motora compleja del chute que el grupo de niños que recibe el mismo *feedback*.
- El grupo de adolescentes que recibe *feedback* visual en vídeo de alta velocidad disminuye más la variabilidad de las variables que determinan la ejecución motora del chute que el grupo de niños que recibe el mismo *feedback*.

---

---

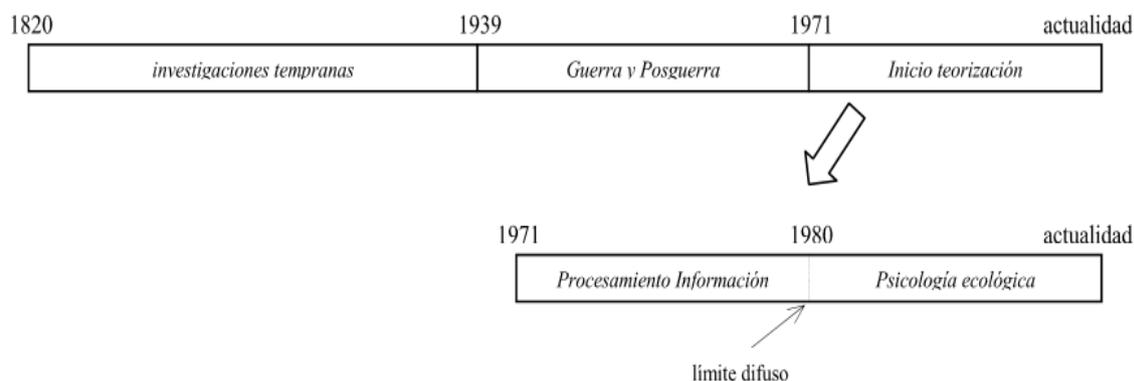
## **PARTE TEÓRICA**

---

# CAPÍTULO 1. EL *FEEDBACK* Y LAS TEORÍAS DEL APRENDIZAJE MOTOR

La literatura científica ha intentado ordenar históricamente los acontecimientos más relevantes del estudio del aprendizaje motor. Por la envergadura del objeto de estudio y los sucesos ocurridos a lo largo del tiempo, los investigadores han diferenciado varias etapas. Tanto Adams (1987) como Summers (2004) proponen una clasificación que plantea un periodo inicial (1880-1940), en el que el conductismo es la perspectiva dominante y del que surgen las primeras investigaciones centradas en el comportamiento, un periodo intermedio (1940-1970), donde empiezan a surgir nuevas ideas e intereses que derivan en el cognitivismo, y el actual (de 1970 en adelante), en el cual el cognitivismo se basa en la perspectiva de procesamiento de la información y convive con las primeras aproximaciones de la perspectiva de la psicología ecológica. Sin embargo, la propuesta realizada por Schmidt y Lee (2011), que distingue la evolución de las dos ramas de estudio del aprendizaje motor (la neurofisiología, centrada en los procesos neurales asociados al movimiento, y la psicología, enfocada al estudio de la habilidad motora como acción motriz), se considera la más relevante. Esta contempla el camino teórico y práctico recorrido por las dos visiones desde que son entendidas al unísono hasta su disociación, conceptualizando perfectamente la corriente de pensamiento propia de cada fase, así como el momento histórico vivido. Batalla (2005) utiliza las tres primeras etapas históricas nombradas por Schmidt y Lee (2011): las investigaciones tempranas (1820-1939), guerra y posguerra (1939-1971) y el inicio de la teorización (a partir de 1971), para proponer su división,

añadiendo la subdivisión del último periodo en el de procesamiento de la información y el de la psicología ecológica (Figura 1-1).



**Figura 1-1. Periodos históricos (Batalla, 2005).**

El inicio de la teorización, con los periodos expuestos por Batalla (2005), es considerado el momento de la historia más relevante en el devenir de las teorías del aprendizaje motor (Schmidt y Lee, 2011). Durante el transcurso de este, que aún perdura, han convivido dos modelos de pensamiento del que han derivado las teorías más relevantes. Así, el modelo de procesamiento de la información ha centrado su estudio en los procesos cognitivos humanos, utilizando para ello una metodología experimental, fundamentándose en que las personas poseen representaciones mentales con eficacia causal y asumiendo la analogía entre la mente humana y el funcionamiento de un ordenador. Desde esta perspectiva, los sujetos son considerados como procesadores activos de información y como solucionadores de problemas motrices en busca de la reducción de la incertidumbre (Pozo, 2006). En cambio, el modelo de la psicología ecológica, basado en las condiciones de práctica física, niega la existencia de las

representaciones mentales. De hecho, determina la autoorganización del sistema motor humano en base a su interrelación con el entorno como el elemento explicativo del control de la respuesta motriz y del aprendizaje motor (Araujo, Davids y Hristovski, 2006; Warren, 2006). Recientemente, ha surgido otro planteamiento que explica el rendimiento y el aprendizaje motor a través de la motivación y la atención. Asumiendo la veracidad experimental de los dos modelos anteriores, sus autoras establecen que, gracias a esta nueva perspectiva, los aprendices asocian el objetivo perseguido a la habilidad motora. Con ello, contemplan la naturaleza social, cognitiva, afectiva y motora de la conducta, favoreciendo el devenir del comportamiento eficaz en base a la calidad del movimiento que el sujeto puede producir (Wulf y Lewthwaite, 2016).

Oña, Martínez, Moreno y Ruiz (2007) exponen que los modelos en la ciencia tienen como funciones principales orientar las investigaciones y explicar los fenómenos propios de cada área científica, buscando exponer la realidad, pero con el objetivo de aplicar sus conceptos, principios y métodos. Marrero, Izquierdo y Rodríguez (1995) lo puntualizan indicando que los modelos se pueden considerar como un intento de sistematización de la realidad en función de presupuestos teóricos, gracias a los cuales los datos empíricos pueden ser articulados de forma coherente y ordenada. Estas palabras resaltan la importancia concedida a los modelos explicativos, aspecto que argumenta la dicotomía existente entre la corriente de pensamiento ligada al procesamiento de la información, la psicología ecológica y la nueva perspectiva por conseguir definir el proceso de aprendizaje motor mediante sus teorías vinculadas (Schmidt, 2003). Partiendo de lo expuesto, en el Capítulo 1 describiremos cronológicamente las características de las teorías surgidas de los tres modelos de pensamiento para explicar el

aprendizaje de una habilidad motora. Focalizaremos la atención en los parámetros relevantes para el aprendizaje según el tipo de habilidad motora y el sistema de control, otorgando especial interés al rol del *feedback* en el proceso (Figura 1-2).

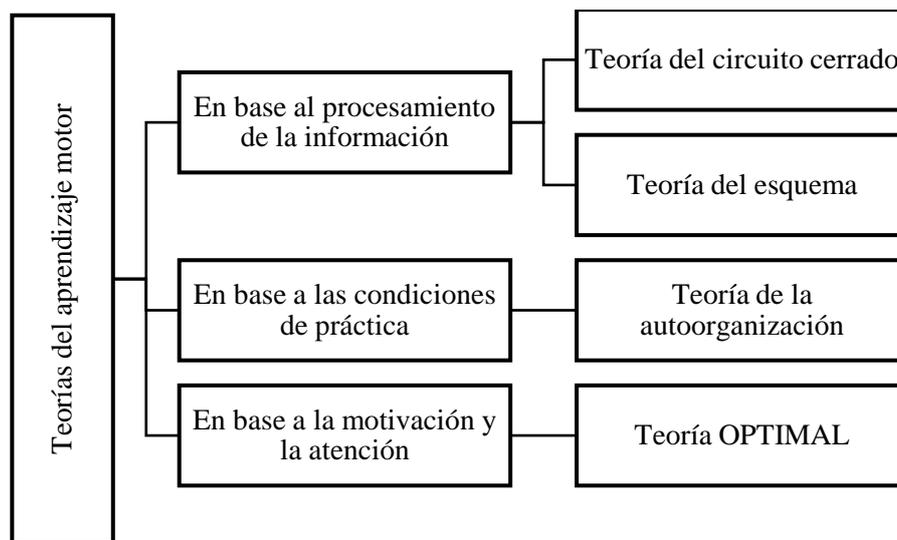


Figura 1-2. Las teorías del aprendizaje motor.

## 1.1. El *feedback* desde la perspectiva de procesamiento de la información

La perspectiva de procesamiento de la información toma la analogía entre la mente humana y el funcionamiento de una computadora como referencia para explicar el aprendizaje motor. Las personas son procesadores activos de información en busca de la solución motora que resuelva el problema y reduzca la incertidumbre (Pozo, 2006). Esta aproximación sirve para replantear cómo la información del movimiento es codificada y almacenada, cómo las

habilidades motoras son representadas en la memoria y cómo la información acerca de los errores se identifica y, en consecuencia, permite el aprendizaje. Los rasgos principales de esta perspectiva derivan en la teoría del circuito cerrado (Adams, 1971) y en la teoría del esquema (Schmidt, 1975), teorías que entienden el *feedback* como el elemento central del proceso de aprendizaje motor.

### **1.1.1. La teoría del circuito cerrado**

La teoría del circuito cerrado de Adams (1971) se fundamenta en los hallazgos encontrados en el proceso error-detección, descubrimientos relacionados con el aprendizaje motor de movimientos de posicionamiento lineal lentos explicados por el sistema de control de bucle cerrado. Este mecanismo establece un recorrido de ida y vuelta de la información entre el centro de control y el elemento de acción, hecho que permite notificar los resultados para mejorar la siguiente acción. Tal aspecto conlleva que la teoría del circuito cerrado focalice gran parte de la responsabilidad del aprendizaje motor sucedido sobre el *feedback*. Está considerada la primera gran teoría del aprendizaje motor y se enmarca en el modelo de pensamiento de procesamiento de la información. Propone un sistema que califica el *feedback* como el elemento necesario para transmitir el efecto de un movimiento en el devenir del siguiente, ya sea para prepararlo o modificarlo. Fue concebida para explicar el aprendizaje motor y el control de los movimientos simples y autorregulables realizados por sujetos con edad suficiente como para poseer competencias verbales, y se caracteriza por introducir dos estructuras de memoria implicadas en la generación y el control de estos movimientos: la huella perceptiva y la huella

mnésica. La teoría estipula que, para que se inicie el movimiento, el aprendiz necesita una referencia sobre movimientos pasados, información sobre el error del último movimiento realizado y *feedback* continuo e inmediato de la posición momentánea de la extremidad que lo está ejecutando. Para Adams (1971), la huella perceptiva es la memoria del movimiento pasado. Establece que su comparación con el *feedback* producido por la respuesta que se está realizando permite informar al sujeto de las diferencias existentes en la dirección y la magnitud del error, facilitando consecuentemente la corrección de la habilidad motora. Enfatiza que el devenir de la práctica física la fortalece, ya que el sujeto aprende a reconocer las consecuencias sensoriales propias de la ejecución correcta. Este hecho tiene una importancia determinante en el papel del *feedback*, ya que, en la primera fase del aprendizaje motor, el conocimiento de los resultados será fundamental y necesario; no obstante, en la fase final, este puede llegar incluso a desaparecer. Por su parte, la huella mnésica se ocupa de seleccionar e iniciar el movimiento, asumiendo las características propias del recuerdo a través de la imagen mental de lo que se quiere hacer. Es la pieza que permite a Adams (1971) introducir la posibilidad de la existencia del error, debido a que no concibe la posibilidad de que solamente la estructura perceptiva inicie y controle el movimiento.

Manipulando positivamente la cantidad de *feedback* sensorial, entendiéndolo como la variable clave del proceso de aprendizaje motor, la teoría del circuito cerrado de Adams (1971) concluye: a) que existe una relación directa entre cantidad y calidad del *feedback* sensorial ofrecido y la perfección en la ejecución de la respuesta; b) que la ejecución es más precisa cuanto más *feedback* aparece en cada ensayo; c) que cuantos más ensayos con *feedback* hay,

mayor es la estabilidad en la ejecución cuando este se retira, precisándose mejor la ejecución de la respuesta, y d) que para la corrección de la respuesta es necesario procesar información en el intervalo entre ensayos.

### 1.1.2. La teoría del esquema

Aun significando un gran paso adelante, la teoría del circuito cerrado (Adams, 1971) tiene ciertas lagunas que no pasaron desapercibidas para los autores de la época. Las que nos suscitan más interés tienen que ver con el funcionamiento del mecanismo de detección del error en ausencia de *feedback* y la posibilidad de aprendizaje motor sin *feedback*. Schmidt (1975) añade a estas dos las limitaciones existentes en relación a las respuestas de posicionamiento, la imposibilidad de explicar las respuestas rápidas, el desarrollo de la huella perceptiva, el problema del almacenamiento de la memoria y el problema de la capacidad del ser humano de llevar a cabo respuestas que nunca antes ha realizado. Con afán de solventar estas debilidades, ese mismo año publica la teoría del esquema (Figura 1-3).

Basándose en los mecanismos de control motor de bucle abierto, sistemas que funcionan sin *feedback* sensorial en los que la habilidad motora está preprogramada y se ejecuta rápidamente, la teoría del esquema determina el programa motor general como el dispositivo memorístico preestructurado que es capaz de controlar las invariancias de una familia de movimientos. Concebida como una estructura interna y no observable que controla las distintas habilidades motoras, permite explicar, desde el modelo de procesamiento de la información, la

posibilidad de ejecutar habilidades motoras interrumpiendo el funcionamiento de las vías sensoriales aferentes. Surge del análisis de los puntos comunes de las habilidades motoras realizadas y da la posibilidad de efectuar movimientos con consecuencias y resultados concretos, ejecutándose cada uno de ellos de manera diversa según el *timing* de la ejecución y el patrón de fuerzas. Para Schmidt (1975), el programa motor general reduce drásticamente la idea, establecida por Adams (1971), de necesitar una huella motora específica para cada habilidad motora, solventando con ello el problema de almacenamiento. El autor agrega la figura del esquema motor a la teoría del esquema como la estructura capaz de controlar los aspectos variables de la ejecución motriz. Sobre el devenir del esquema, aparece el rol del *feedback* dentro del planteamiento teórico. Para este, el *feedback* se encarga de aportar toda la información referente a las condiciones iniciales de la habilidad motora, a las variables de respuesta obtenidas de cada ejecución, a los efectos sensoriales surgidos de estas y al resultado de la respuesta en relación con la finalidad perseguida. Gracias a esta información, se fortalecen las reglas que almacenan los esquemas motores, subdivididos en el esquema del recuerdo y el esquema de reconocimiento, las cuales explican la mejora en la ejecución del movimiento a través de las relaciones surgidas entre los resultados obtenidos y los parámetros aplicados. Según Schmidt (1975), la producción de una respuesta motriz por parte del sujeto depende del esquema del recuerdo. De la relación entre los resultados obtenidos y las especificaciones propias de ejecuciones anteriores, el esquema del recuerdo permite al individuo establecer las características que necesita el movimiento actual. En cambio, el esquema de reconocimiento es el parámetro que utiliza la teoría del esquema para explicar el control de la ejecución del movimiento, ya que detecta los errores aparecidos en la habilidad motora al comparar las

consecuencias sensoriales de la respuesta con las consecuencias sensoriales esperadas. Su combinación explica la creación de nuevos movimientos. Para el autor, tanto el esquema de recuerdo como el de reconocimiento establecen las variables de actuación de la nueva habilidad motora, partiendo de la información almacenada y anticipada de habilidades motoras parecidas. Con esta argumentación, la teoría del esquema da respuesta a la adquisición de parámetros de actuación que nunca se habían establecido. Paralelamente, considera el sistema de etiquetado del error como la herramienta encargada del refinamiento de la habilidad motora. Establece que esta estructura obtiene las señales de error de la discrepancia resultante de la comparación entre los resultados esperados y los resultados obtenidos. Al ser comparados con los resultados anteriores y con las especificaciones de respuesta de la tarea, surge el refuerzo subjetivo, el cual etiqueta y restituye el esquema produciendo los cambios necesarios. La repetición sistemática de este proceso consigue una ejecución cada vez más precisa. Según la teoría del esquema, este mecanismo puede llegar a suplantar al *feedback* en el proceso de aprendizaje motor, cuando este no está presente, al poder utilizarse como refuerzo útil para aportar la información que necesita el esquema del recuerdo. No obstante, el autor puntualiza que el *feedback* es mucho más preciso y eficaz.

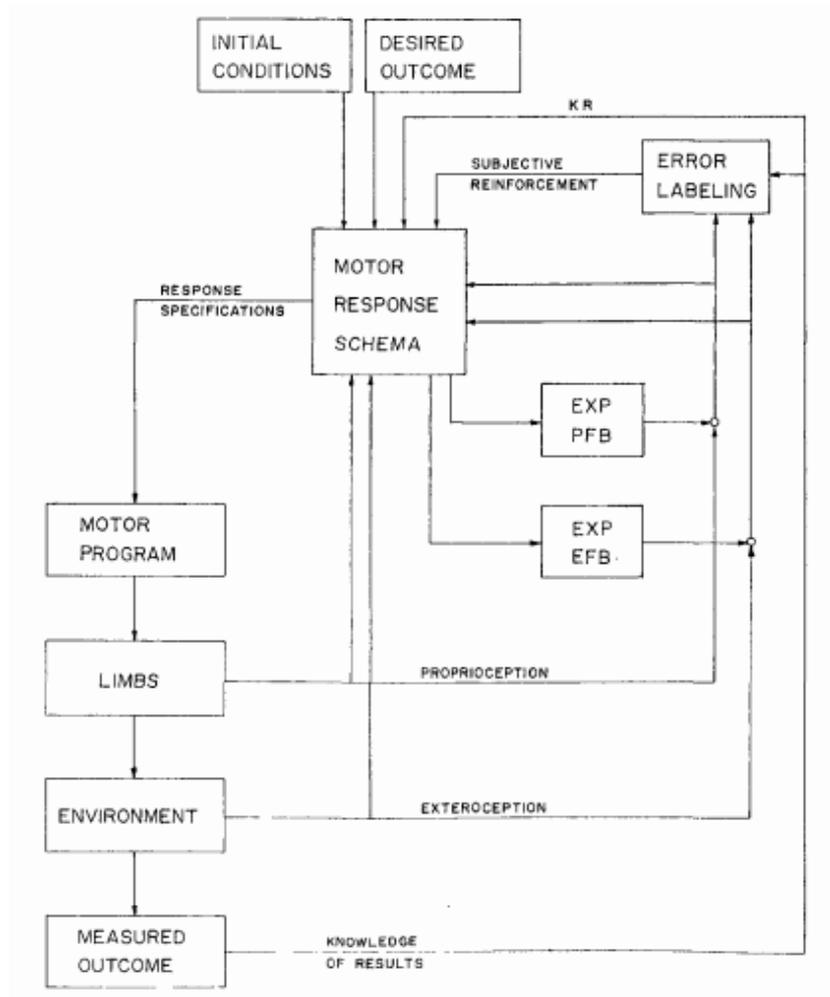


Figura 1-3. Representación esquemática de la teoría del esquema de Schmidt. EXP PFB = *Feedback* propioceptivo esperado; EXP EFB = *Feedback* exteroceptivo esperado (Schmidt, 1975).

## 1.2. El *feedback* desde la perspectiva de la psicología ecológica y las condiciones de práctica

La teoría de la autoorganización, ligada a la psicología ecológica y los sistemas dinámicos, explica el aprendizaje motor de los movimientos continuos en base a los cambios de un sistema físico a lo largo del tiempo. Secunda su concepción en los resultados obtenidos por el modelo Haken, Kelso y Bunz (HKB) (Haken et al., 1985). Contrapuesto a la percepción cognitivista, el siguiente experimento quería observar la coordinación espontánea surgida de las regularidades de los sistemas dinámicos no lineales. Para ello, los autores plantearon un test en el que los participantes debían mover rítmicamente los dedos índices de cada mano siguiendo el ritmo creciente de un metrónomo sin alterar intencionadamente el patrón motor. Activándolos a la vez y de manera alterna, disponiendo una relación antifase, el objetivo de los sujetos era completar un ciclo en cada pulsación. Bajo estas premisas, los investigadores comprobaron que, a partir de un valor crítico de frecuencia, individual para cada participante, el movimiento de los dedos cambiaba espontáneamente y empezaban a moverse de forma simultánea, disponiendo una relación en fase, distinguiéndose previamente un periodo de transición en el que la acción fluctuaba entre los dos patrones. Este fue un hecho significativo, ya que no sucedía lo mismo si el experimento se iniciaba partiendo de esta última relación (Figura 1-4).

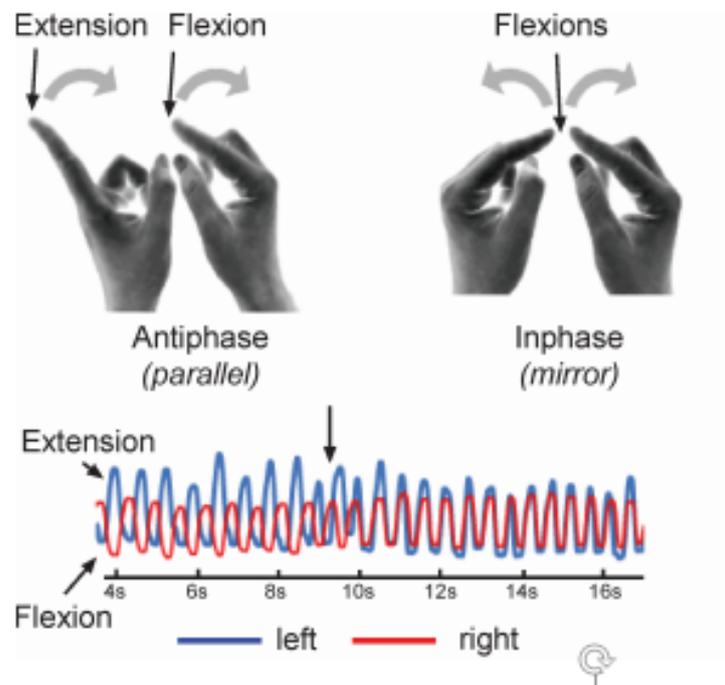
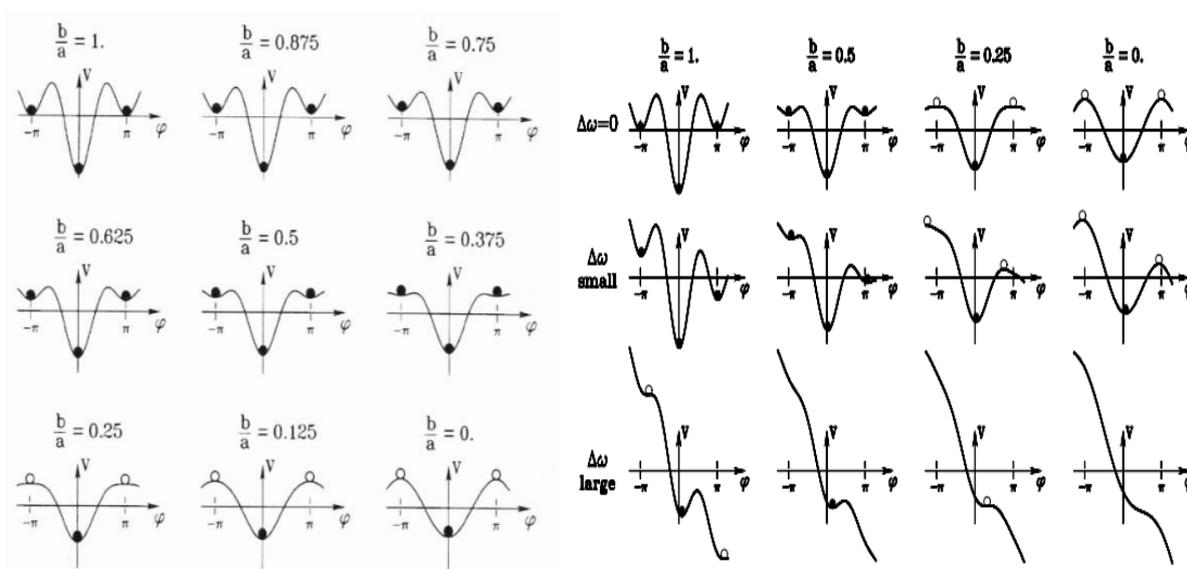


Figura 1-4. Representación gráfica del paradigma no lineal de la coordinación dinámica (Kelso, 2009).

Este trabajo experimental sirvió para conceptualizar el modelo HKB (Figura 1-5), el cual permite establecer un modelo teórico no lineal que explica el comportamiento coordinativo subyacente de los atractores del sistema fruto de la relación en fase ( $\varphi = 0$ ) y antifase ( $\varphi = \pm\pi$ ). Esta investigación tan simple respalda, según los autores, la existencia de patrones dinámicos de coordinación de carácter involuntario que guían el comportamiento motor hacia el patrón más estable o atractor. En su planteamiento inicial describen el comportamiento del sistema a partir de la función  $\dot{\varphi} = -a \sin \varphi - b \cos 2\varphi$ , resaltando con ello la transición no lineal hacia una relación en fase, proponiendo una curva idealizada y simétrica que describe los cambios en la variable  $\varphi$  en el tiempo. Su continua experimentación ha contemplado su aplicación ante movimientos cíclicos y acíclicos de diferente índole realizados por el propio sujeto o entre más de uno (Kelso y Jeka, 1992; McLeod y Dienes, 1993; Schmidt, Carello y Turvey, 1990). Este

hecho ha provocado que se haya estudiado en situaciones más variadas y próximas a la realidad, comportando con ello ciertas modificaciones respecto a su primer planteamiento. Por este motivo, la intención ha pasado a ser un elemento relevante dentro de la explicación de la teoría de la autoorganización. Se contempla como el elemento capaz de desestabilizar el patrón actual y facilitar la transición a un nuevo patrón. Tanto es así, que Scholz y Kelso (1990) exponen que la manipulación de la intención puede modificar la dinámica de la coordinación. De este modo, estableciendo un potencial de actuación más fuerte sobre un patrón en antifase que en fase, puede llegar a evitar una transición bajo determinadas condiciones. Este cambio en la intensidad de los atractores cambia la fisionomía de la función  $\varphi$ , explicando con ello el aprendizaje motor. Para la teoría de la autoorganización, el aprendizaje motor es el proceso de modificación de los patrones estables a nuevos y se explica a través de la función  $V(\varphi) = -\Delta\omega\varphi - a \cos\varphi - b \cos 2\varphi$  (Kelso, 1994).



**Figura 1-5. Comparativa gráfica del modelo HKB inicial (izquierda) y actual (derecha). Nótese la ruptura de la simetría de la función  $\phi$ . La asimetría que emerge se estipula a partir de la diferencia de frecuencia espontánea de movimiento de los elementos que participan en la tarea. A medida que esta aumenta, los cambios son más significativos. La intención provoca que el patrón motor pretendido surja con más probabilidad, pudiendo aparecer más de una solución motora (Haken et al., 1985; Kelso, 1994; Kelso, 2009).**

Este planteamiento supone un salto cualitativo importante en el estudio del aprendizaje motor, debido a que por primera vez existe un planteamiento teórico que soluciona los problemas asociados al aprendizaje de nuevas habilidades motoras. Las características iniciales de la coordinación en fase y antifase de ser patrones conocidos, medibles y estables que existen antes de la práctica física, dan la posibilidad, ante el rendimiento de los nuevos patrones de coordinación bimanual, de evaluar durante el proceso de práctica física y comparar con el rendimiento de estas habilidades de salida (Schmidt y Lee, 2011). Zanone y Kelso (1992), siguiendo esta idea, plantearon un estudio en el que los participantes debían practicar el movimiento oscilatorio de los dedos propio del modelo HKB a una relación fase de  $90^\circ$  durante cinco días. Tras realizar un test de transferencia antes, durante y después de cada día de práctica física, en el que los sujetos se guiaban por metrónomos visuales que parpadeaban

simultáneamente partiendo de una fase relativa de 0°, aumentando 15° cada 20 s hasta que se alcanzaba una fase relativa de 180°, los autores observaron que el patrón coordinativo de 90° presentó las características de un atractor. Esto provocó que el patrón coordinativo de 180° en antifase dejara de ser estable, dando argumentos suficientes para pensar que el aprendizaje motor no es simplemente la agregación de nuevas habilidades motoras en el repertorio de un sujeto, sino más bien la modificación de las existentes.

Warren (2006) expone que la estructura y la física del entorno, la biomecánica del cuerpo, la información perceptiva sobre el estado del sistema persona-entorno y las exigencias de la tarea a realizar contribuyen conjuntamente a limitar el resultado comportamental (Figura 1-6). La percepción se razona como el modo en que la persona se hace consciente de su entorno. Defiende la percepción directa, distinta a la presente en otros planteamientos, ya que no necesita los pasos intermedios entre el *input* percibido y el *output* en forma de habilidad motora. Este hecho posibilita encontrar soluciones eficaces y eficientes en entornos cambiantes de forma espontánea; es decir, sin precisar de programas ni órdenes externas o internas. En lugar de programas motores, los seres vivos disponen de coordinaciones o sinergias preferenciales que, configuradas por sus características individuales y su experiencia previa, definen sus atractores naturales o dinámica intrínseca condicionando el desarrollo de su motricidad (Oullier y Kelso, 2009). Torrents (2005) explica que en este planteamiento teórico el *feedback* es entendido como un proceso continuo entre la red del propio sistema y el medio ambiente. Todo organismo vivo está formado por bucles de *feedback*, los cuales realimentan al sistema abierto partiendo siempre del nuevo punto de partida. Permiten dos tipos de regulaciones, la estabilidad y la

adaptabilidad. La primera da persistencia a las condiciones, independientemente de los cambios del entorno (*feedback* negativo), y la segunda permite al sistema ajustarse a los cambios de condiciones internas y externas (*feedback* positivo), permitiendo el refuerzo y la ampliación de respuestas motoras. De hecho, la autora clarifica que el comportamiento no lineal característico de los seres vivos surge de la interacción de ambos.

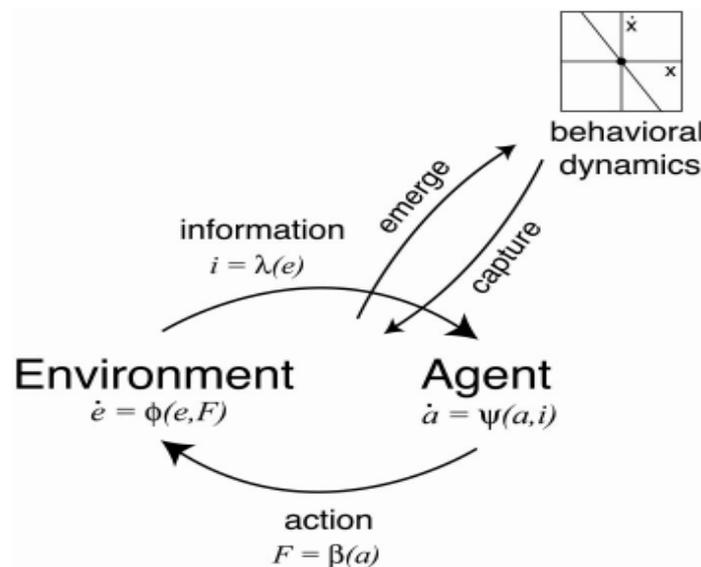


Figura 1-6. Teoría de la autoorganización (Warren, 2006).

### 1.3. El *feedback* desde la perspectiva de la motivación y la atención de la conducta motora

El creciente interés en la perspectiva de la teoría de la autoorganización y los descubrimientos asociados a ella hace que los investigadores empiecen a cuestionar los

planteamientos de la teoría del esquema. Varios son los autores que manifiestan sus limitaciones. Sherwood y Lee (2003) nombraron algunas de estas deficiencias. El primer aspecto que indicaron es su incapacidad para dar respuesta al aprendizaje motor en ausencia de movimiento. Según los autores, esto es debido a que basa el aprendizaje únicamente en el *feedback* extrínseco surgido de la habilidad motora. Aspecto que no está en sintonía con las investigaciones científicas que han demostrado la posibilidad de aprender a través de la práctica mental, la imaginación y el aprendizaje observacional (Hird, Landers, Thomas y Horan, 1991). Otro parámetro que no concuerda con el propuesto por la teoría del esquema es el rol del *feedback*. Tal como manifiestan los investigadores del artículo citado, los estudios han negado la relevancia dada en el proceso de aprendizaje motor al *feedback* extrínseco. La teoría del esquema predecía que una alta frecuencia de *feedback* extrínseco era crucial para establecer el esquema del recuerdo, del reconocimiento y la detención del error. Hecho refutado al descubrir que una baja frecuencia de *feedback* extrínseco es suficiente para influir en la adquisición del programa motor (Lai y Shea, 1998, 1999). También indican que no enfoca correctamente la variabilidad y ordenación de la práctica física. La teoría del esquema establece la necesidad de que esta exista para nutrir el programa motor, sin dar importancia a cómo debe ser vivenciada. No obstante, con los años se ha demostrado que el orden repercute en el aprendizaje motor, existiendo más transferencia ante práctica física no repetitiva que seriada (Wulf y Lee, 1993). Por último, declaran que no queda claro cómo se adquiere un programa motor general, ya que la teoría del esquema lo contempla como innato sin explicar de dónde surge. Ante estas carencias, Schmidt (2003) clarifica que la teoría del esquema explica solamente la ejecución de los movimientos discretos, caracterizados por poseer un inicio y final reconocibles, calificando

de imprescindible el concepto de programa motor para conceptualizarlas. Defiende su existencia basándose en la investigación de Wadman, Denier Van der Gon, Geuze y Mol (1979), los cuales demostraron la activación muscular del musculo agonista (tríceps) y antagonista (bíceps) mediante electromiografía (EMG) en una extensión rápida de codo aún e impidiendo mecánicamente que la extremidad se moviera (Figura 1-7). Con ello acepta que la teoría de la autoorganización explica la ejecución y el aprendizaje motor de las acciones continuas, pero reafirma la necesidad de seguir investigando para lograr una propuesta teórica global.

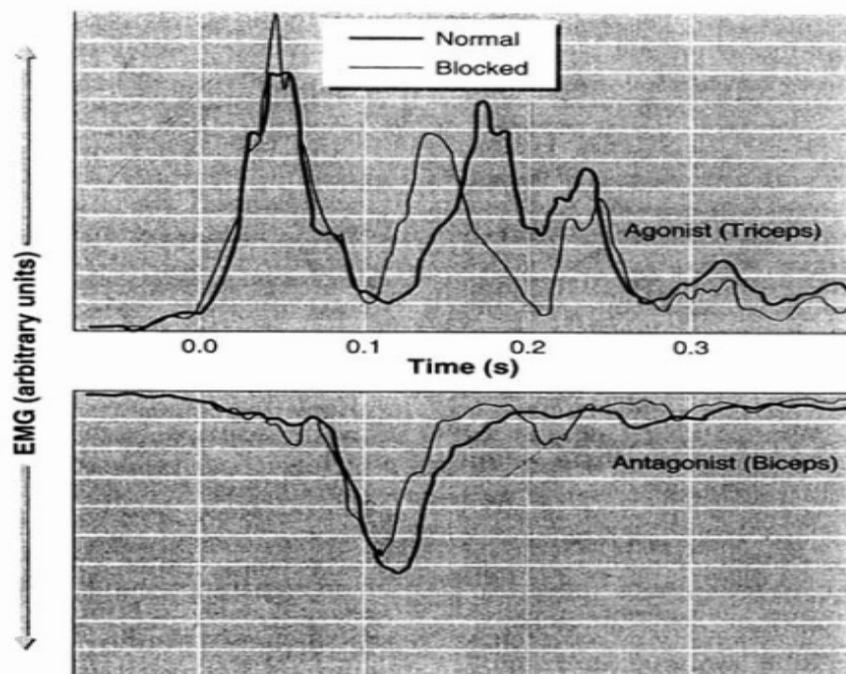


Figura 1-7. Activación EMG del músculo agonista y antagonista con y sin libertad de movimiento de la articulación del codo (Schmidt, 2003).

Las teorías del aprendizaje motor explicadas hasta el momento han surgido a partir de las condiciones de práctica física que tienen que ver con el procesamiento de la información y

la psicológica ecológica. No contemplan la naturaleza social, cognitiva, afectiva, motora, de la conducta. Esta se rige a través de normas y estereotipos que determinan si las actividades de los seres humanos son adecuadas al contexto cultural, ya que la conducta motriz se observa y realiza generalmente en entornos sociales. La teoría OPTIMAL (Wulf y Lewthwaite, 2016) explica el rendimiento y el aprendizaje motor a través de la motivación y la atención. Supone una perspectiva diferente de las planteadas hasta el momento, que asume la veracidad experimental de las dos anteriores, complementándolas con nuevos hallazgos para explicar el proceso de aprendizaje motor. Soporta su hipótesis en las evidencias científicas que demuestran una mejora en el aprendizaje cuando se crean las condiciones que aumenten las expectativas del aprendiz hacia la acción futura, cuando se utilizan variables que promueven su autonomía y cuando se utiliza un enfoque de atención externo sobre el movimiento a realizar (Figura 1-8). Las condiciones de práctica física de una habilidad motora que favorecen las expectativas de resultado positivo desencadenan respuestas dopaminérgicas beneficiosas para el rendimiento motor. La mejora de las expectativas y la ayuda a la autonomía facilitan el aprendizaje motor al dejar que la dopamina esté disponible para la consolidación de la memoria y el desarrollo de la vía neural. Al mismo tiempo, el incremento de las expectativas y el apoyo a la autonomía contribuyen a una eficiente combinación objetivo-acción, preparando el sistema motor para la ejecución de una habilidad motora. Un enfoque de atención externo refuerza esta combinación, incrementando la expectativa de éxito de la acción futura. El desafío, en un contexto de éxito, provoca una respuesta dopaminérgica de gran potencial que favorece el aprendizaje, más allá del éxito o del desafío en sí.

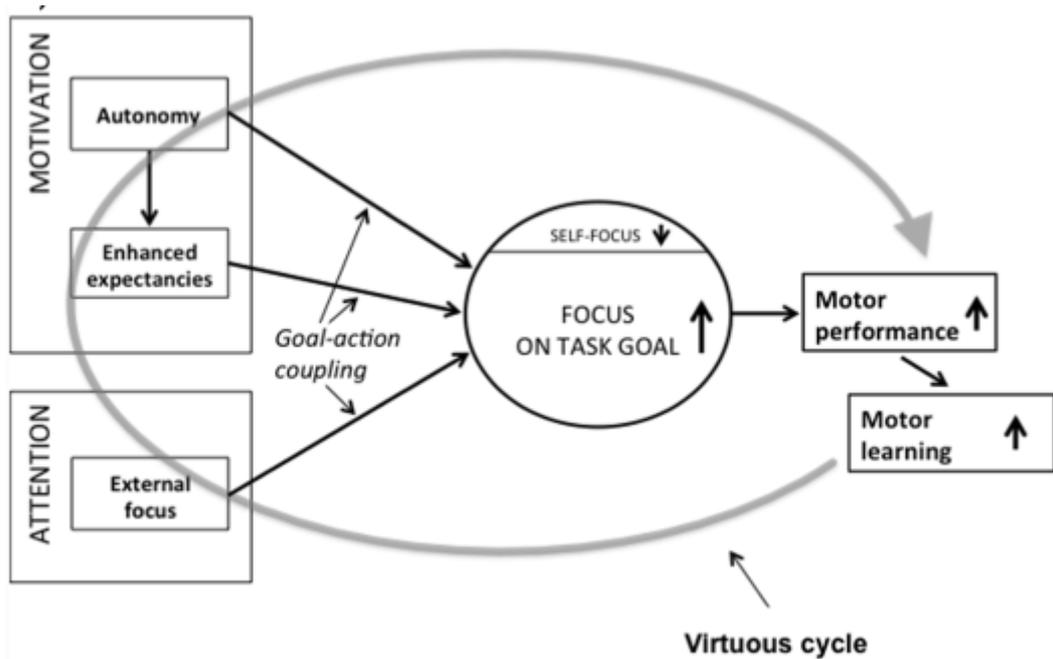


Figura 1-8. Teoría OPTIMAL. Las expectativas mejoradas y la autonomía relacionada, así como el enfoque de atención externo dirigen a las personas hacia sus objetivos de acción (Wulf y Lewthwaite, 2016).

Enfocándose en el movimiento volitivo, las autoras asocian la autoeficacia a las expectativas de resultado. En base a esta conjetura, especifican que la utilización de *feedback* positivo, entendido como el proporcionado sobre las habilidades motoras de éxito, permite al ejecutante aumentar su percepción de competencia y ganar confianza en sus desempeños futuros, mejorando con ello las expectativas de rendimiento y facilitando el aprendizaje motor. Al mismo tiempo, las autoras también sustentan que, si este tipo de *feedback* va acompañado de información comparativa social que resalte la eficacia de la habilidad motora por encima del promedio o se presenta utilizando la técnica del automodelado, crea la misma sensación. Especifican además que establecer criterios que supuestamente indican un buen desempeño, pero que se pueden alcanzar con relativa facilidad, eleva del mismo modo las expectativas. La concepción del aprendiz de la habilidad motora juega un papel determinante

en su percepción de éxito o fracaso al ejecutarla. Según las autoras, las personas que creen que las habilidades motoras son adquiribles tienen más probabilidades de enfocar una tarea como una oportunidad para mejorar, viendo los errores como temporales y como parte del aprendizaje. La teoría OPTIMAL subraya el papel de la recompensa en este proceso. Concebida como un índice de eficacia en el rendimiento, aumenta la motivación intrínseca y las expectativas anticipatorias personales por conseguirla o perderla, potenciando la ejecución posterior. De este modo, las expectativas altas de éxito afectan positivamente el aprendizaje motor (Pascua, Wulf y Lewthwaite, 2015; Rosenqvist y Skans, 2015; Wulf, Chiviawsky y Cardozo, 2014). Al mismo tiempo, creer en la afectación positiva que provocará la habilidad motora aumenta de igual forma la expectativa y puede utilizarse como herramienta (Chiviawsky y Wulf, 2007; Chiviawsky, Wulf, Wally y Borges, 2009). Todos estos argumentos respaldan, según Wulf y Lewthwaite (2016), la noción de que el aprendizaje motor está mediado por factores motivacionales. Las dos posiciones motivacionales prominentes de la teoría OPTIMAL para facilitar el aprendizaje motor son el incremento de las expectativas de rendimiento y la necesidad del aprendiz de sentirse autónomo. La literatura ha demostrado que dar al aprendiz control sobre ciertos aspectos de la práctica física mejora el aprendizaje motor (Chiviawsky, Wulf, Lewthwaite y Campos, 2012; Wulf, 2007). Recibir *feedback* autocontrolado, es decir, cuando el ejecutante quiere, ha resultado ser una variable positiva para mejorar la ejecución de la habilidad motora. La teoría OPTIMAL destaca el aprendizaje observacional mediante vídeo como una herramienta óptima de uso para tal fin (Wulf, Raupach y Pfeiffer, 2005). Junto a este aspecto, indica que la utilización de lenguaje instructivo que favorezca el sentido de elección, dando con ello más autonomía, conduce a

un aprendizaje motor superior (Hooyman, Wulf y Lewthwaite, 2014). Reniega de la instrucción cerrada que ofrece poca opción de cómo ejecutar la habilidad motora. Además, añade que la capacidad de elección durante la práctica física del tiempo y orden de ejecución aumenta el interés del aprendiz por completar la tarea, beneficiando indirectamente el aprendizaje. Las condiciones que ofrecen la oportunidad de elegir son motivadoras, porque muestran que uno podrá controlar los próximos eventos (Wulf y Lewthwaite, 2016). Paralelamente, las autoras establecen, atendiendo a las ventajas del enfoque de atención externo, que el *feedback* debe realizarse mediante una instrucción abierta ya que facilita el enlace objetivo-acción. Utilizar el enfoque de atención externo, lejos de las partes del cuerpo de uno mismo y del efecto del movimiento previsto, beneficia el rendimiento y el aprendizaje motor (Wulf, 2007, 2013). Las ventajas encontradas se refieren a medidas de efectividad (ej., precisión al golpear un objeto, producir una cierta cantidad de fuerza, mantener una posición de equilibrio) y eficiencia (ej., actividad muscular, consumo de oxígeno y frecuencia cardiaca reducida) del movimiento. Denota un aprendizaje motor superior respecto al enfoque de atención interno, debido a que se consigue un nivel de la habilidad motora más alto, más rápido, mostrando una mejora en el reclutamiento de unidades motoras, en la coactivación muscular y en la cinemática de la habilidad motora adaptada al entorno. Según las autoras, el enfoque de atención externo promueve procesos de control inconscientes, rápidos y reflexivos, y favorece la coordinación libre sin restringir los grados de libertad de movimiento, beneficiando la variabilidad funcional y la reducción de la atención.

El *feedback* ha sido contemplado por las teorías del aprendizaje motor como uno de los elementos más importantes que hay para transmitir la información necesaria para el aprendizaje de una habilidad motora. En la sociedad actual, las mejoras tecnológicas permiten aportar información de varias formas. Las imágenes han supuesto una de las fuentes más importantes para el impulso de la información. El deporte no ha sido ajeno a este efecto. Debido a esto, el proceso de introducción del vídeo en la actividad física ha dado un salto cualitativo. Las imágenes de alta resolución a cámara lenta han permitido verificar la velocidad y la plasticidad de las habilidades motoras (Wilson, 2008), siendo una herramienta utilizada habitualmente por los entrenadores y profesores para aportar *feedback* a los aprendices. La ciencia, a través del aprendizaje observacional, ha demostrado el efecto positivo del uso del vídeo como herramienta de *feedback* para el aprendizaje motor en acciones cerradas y abiertas (Maslovat, Hayes, Horn y Hodges, 2010). Además, tal y como manifiestan Wulf y Lewthwaite (2016), este modo de dar *feedback* tiene un componente motivacional que mejora las expectativas del aprendiz, facilita su autonomía y puede darse mediante un enfoque de atención externo. En el siguiente capítulo se desarrolla la influencia del aprendizaje observacional. Nos adentraremos en la utilización de modelos para el aprendizaje motor, focalizándonos en la información observada por el aprendiz en base al *feedback* visual en vídeo suministrado y poniendo especial énfasis en las repercusiones en el aprendizaje motor del *feedback* de vídeo en función de la velocidad de visionado.

---

## CAPÍTULO 2. EL *FEEDBACK* DE VÍDEO EN EL APRENDIZAJE MOTOR

Las demostraciones son uno de los métodos más comunes y eficientes de transferencia de información para el aprendizaje motor. El aprendizaje subyacente es el resultado del proceso de asimilación de una habilidad motora en base a la información presentada por un modelo de ejecución (Hodges, Williams, Hayes y Breslin, 2007; Maslovat et al., 2010). Durante el transcurso de esta, el modelo muestra a los aprendices cómo ejecutar la habilidad motora que desean interiorizar. Aprender a través de un modelo permite demostrar la habilidad motora realizada de manera dinámica al aprendiz, por lo que este abstrae los elementos estructurales de la acción, prestando atención a los detalles técnicos de la ejecución motora. La información transmitida mediante la simulación del movimiento, al poder representarse en el espacio, facilita su modelación y aprendizaje y define parámetros temporales y espaciales claves para la realización de la habilidad motora. De este modo, permite al ejecutante conformarse una imagen mental que se puede complementar mediante el proceso de práctica física a través del ensayo-error (Wulf y Mornell, 2008; Wulf, Shea y Lewthwaite, 2010). Esta estrategia ha sido una de las herramientas más utilizadas por los formadores en el aprendizaje de una habilidad motora (Hodges y Williams, 2007; Rohbanfard y Proteau, 2011), llegando a vislumbrarse su utilización a través de medios tecnológicos tales como el vídeo o la fotografía (Schmidt y Lee, 2011). El uso del vídeo se ha convertido en un medio bien establecido y ampliamente aceptado para modelar comportamientos adaptativos (comportamientos que son positivos para mejorar) y

corregir comportamientos desadaptativos en muchas disciplinas (Dowrick, 1999). Además, tal y como manifiestan Wulf y Lewthwaite (2016), el aprendizaje observacional mediante vídeo es una herramienta óptima para potenciar la autonomía del aprendiz e incrementar sus expectativas de éxito y aprendizaje. Viendo la aplicabilidad de esta herramienta y del *feedback* que proporciona, nuestro objetivo en el Capítulo 2 es revisar la literatura relacionada con el aprendizaje observacional. Explicaremos sus características, centrándonos en los efectos del *feedback* visual intrínseco y del *feedback* visual extrínseco. De este último, profundizaremos en el uso del vídeo para el aprendizaje motor, diferenciando su repercusión en base a la velocidad de visionado, parámetro altamente utilizado en la práctica deportiva y que se manifiesta utilizando la tecnología de vídeo de alta velocidad.

## 2.1. Bases neurofisiológicas del aprendizaje observacional

Reconocer la habilidad motora desarrollada es un aspecto fundamental de la que depende el aprendizaje motor. Numerosas hipótesis han intentado explicar esta función cognitiva; no obstante, dos teorías sobresalen por encima de las demás. La primera es la hipótesis visual. Esta sustenta que el reconocimiento de la habilidad motora se basa en el análisis visual de todos los componentes de la acción específica, siendo estos el efector implicado, el objeto sobre el cual se actúa y el contexto en el que la acción se ejecuta. Es decir, el observador entiende y reconoce las habilidades motoras realizadas por otros gracias a la interacción de los tres elementos descritos visualmente. En cambio, la segunda hipótesis, denominada “hipótesis de la coincidencia directa”, se respalda en la actividad del sistema de

las neuronas espejo y supone la explicación neurofisiológica más estable. Sostiene que uno puede reconocer las habilidades motoras realizadas por otras personas mediante la asignación de la acción observada en su propia representación motora. Al conocer los sustratos neuronales propios de la ejecución de la habilidad, al ser esta observada, la activación de los mismos sustratos permite al observador, dada la coincidencia presente entre la observación y la ejecución, entender lo que el ejecutante está haciendo (Rizzolatti, Fogassi y Gallese, 2001). El sistema de las neuronas espejo está compuesto por un tipo de neuronas visomotoras que tienen la propiedad de activarse tanto durante la ejecución de acciones como durante la observación de otro individuo ejecutando acciones conocidas (Di Pellegrino, Fadiga, Fogassi, Gallese y Rizzolatti, 1992). En los seres humanos se han localizado neuronas con estas propiedades en muchas zonas del cerebro (Figura 2-1) (Caspers, Zilles, Laird y Eickhoff, 2010; Grosbras, Beaton y Eickhoff, 2012; Molenberghs, Cunnington y Mattingley, 2012).

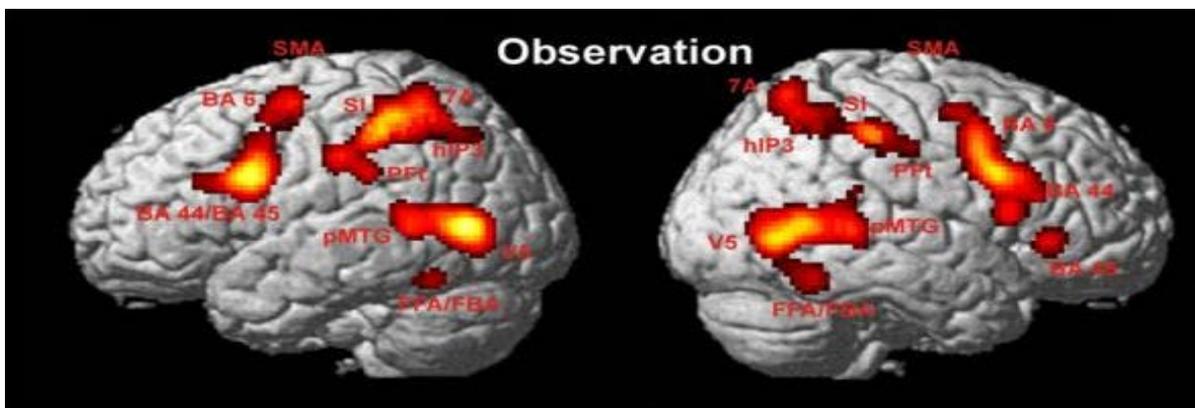


Figura 2-1. Localización topográfica del sistema de las neuronas espejo en el cerebro humano (Caspers et al., 2010).

El sistema de las neuronas espejo se divide en dos subsistemas diferentes. Por un lado, encontramos el sistema límbico, compuesto por la ínsula y la corteza frontal medial anterior, responsable del reconocimiento del comportamiento afectivo (Carr, Iacoboni, Dubeau, Mazziotta y Lenzi, 2003). Y por otro, el sistema frontoparietal, formado por las zonas del lóbulo parietal y la corteza premotora, así como por la parte caudal del giro frontal inferior, vinculado al reconocimiento del movimiento voluntario (Cattaneo y Rizzolatti, 2009). Este desempeña un papel destacable en el entendimiento de las acciones realizadas por los demás, pareciendo ser el responsable de la habilidad que tienen los seres humanos de imitar (Caspers et al., 2010). Al ser fundamental la capacidad de imitar en el aprendizaje motor y atendiendo al rol del sistema de las neuronas espejo, es necesario establecer la diferencia entre un comportamiento imitativo inmediato y el aprendizaje por imitación. La imitación inmediata representa la replicación del movimiento observado *in situ*, en el cual la precisión de la ejecución existente en relación con el movimiento primario es casi nula, mientras que la imitación por aprendizaje comporta la construcción de nuevas memorias motoras basadas en la observación de la habilidad, donde la precisión es casi pareja, pudiendo incorporar aportaciones propias del sujeto observador (Rizzolatti, Cattaneo, Fabbri-Destro y Rozzi, 2014). El mecanismo implicado en el aprendizaje motor por imitación fue investigado por Buccino, Vogt, et al. (2004). Mediante un estudio por imagen por resonancia magnética funcional (IRMf), en el que a aprendices inexpertos se les pidió imitar acordes realizados por un guitarrista experto, se mapearon las activaciones corticales de los sujetos durante la observación de los acordes, en la pausa posterior y en la ejecución del acorde. Los resultados mostraron que, durante la formación de nuevos patrones motores, es decir, en la pausa entre la observación y la ejecución, hubo una fuerte activación

del sistema de las neuronas espejo en el lóbulo parietal inferior, en el premotor ventral y en el *pars opercularis* del giro frontal inferior junto al área de Brodmann 46 y la corteza medial anterior. Debido a esta funcionalidad surgida en el proceso imitativo, el sistema de las neuronas espejo frontoparietal constituye un sistema de aprendizaje basado en el *feedback*. De hecho, esta acción significativa, procesada en el *pars opercularis* del giro frontal inferior, guía la planificación motora atendiendo a una representación detallada de la habilidad motora observada, ubicada en el surco temporal superior y en el lóbulo parietal inferior.

Al mismo tiempo, se ha observado que la tendencia a repetir un acto motor es mayor cuando el acto motor a copiar está bien representado en el repertorio motor del observador (Prinz, 2012). De hecho, Buccino, Lui, et al. (2004) evidenciaron que solo los actos motores que están presentes en el repertorio motor del observador son eficaces en la activación del sistema de las neuronas espejo. Mediante un experimento con representaciones IRMf en el que las acciones orales hechas por seres humanos, monos y perros se presentaron a voluntarios humanos, se demostró que el lóbulo parietal inferior del hemisferio izquierdo y el giro frontal inferior respondían a acciones hechas por humanos y seres no humanos, siempre y cuando la acción fuera parte del repertorio motor del observador, por ejemplo, morder o comer, no activándose cuando la acción pertenecía a otra especie. Calvo-Merino, Glaser, Grèzes, Passingham y Haggard (2004) concretaron más lo manifestado al expresar que la activación del sistema de las neuronas espejo está relacionada con la experiencia motora del observador con la habilidad motora dada. Mediante la utilización de la IRMf estudiaron las diferencias en la actividad cerebral entre observar una acción que el sujeto ha aprendido a hacer y una acción

que no ha aprendido. Expertos en ballet clásico, expertos en capoeira y sujetos de control inexpertos vieron vídeos de habilidades motoras de las dos disciplinas. Posteriormente los científicos compararon la actividad cerebral surgida cuando los bailarines veían su propio estilo y cuando no, revelando la influencia o no en consecuencia de la experiencia motora en la observación de la acción. Los resultados confirmaron lo manifestado anteriormente, ya que mostraron mayores activaciones bilaterales en la corteza premotora, en el surco intraparietal, en el lóbulo parietal superior derecho y en el surco temporal superior posterior izquierdo cuando los bailarines expertos observaban movimientos que ellos habían entrenado, en comparación con los movimientos en los que no tenían experiencia motora. Seguidamente, en un segundo estudio, Calvo-Merino, Grèzes, Glaser, Passingham y Haggard (2006) quisieron profundizar en la premisa expuesta anteriormente clarificando si el sistema de las neuronas espejo utilizaba representaciones motoras especializadas o procesos generales de inferencia visual y conocimiento para entender las acciones observadas en relación a la experiencia del sujeto. Utilizando un método basado en IRMf para revelar las bases neurales de las influencias motoras en la observación de la habilidad motora, controlaron los efectos visuales y de conocimiento de esta nuevamente en bailarines expertos. Partiendo de la base de que el ballet dispone de movimientos distinguidos por género, aunque tanto bailarines masculinos como femeninos entrenan juntos y están igualmente familiarizados visualmente con todos los movimientos, los resultados mostraron una mayor actividad premotora, parietal y cerebolosa cuando los bailarines veían movimientos de su propio repertorio motor, en comparación con los movimientos del género opuesto, que frecuentemente veían, pero no realizaban. Con ello, más lo encontrado en el primer estudio y las investigaciones de Cross, Hamilton y Grafton (2006),

los cuales concluyeron que el entrenamiento motor de una habilidad que no constase inicialmente en el repertorio del sujeto activa a posteriori el sistema de las neuronas espejo, se demostró que el ser humano entiende la habilidad no solo mediante el reconocimiento visual, sino también a través del reconocimiento motor adquirido a través de la experiencia práctica.

## **2.2. Aprender a través de un modelo**

En general, se acepta que el primer determinante del aprendizaje motor es la práctica física. Sin embargo, esta no siempre es un primer paso adecuado, ni siempre es posible. Este es el caso, por ejemplo, cuando la tarea implica cierto grado de peligro o cuando una lesión requiere que ciertas habilidades motoras sean reaprendidas. En tales casos, la observación de un modelo que realiza la tarea puede resultar beneficiosa para el aprendizaje o para reducir la cantidad de práctica física necesaria para alcanzar el rendimiento requerido, ya que se ha comprobado su eficacia por encima de condiciones de práctica física aislada, del uso de instrucciones verbales o del descubrimiento guiado (Ashford, Bennett y Davids, 2006; Maslovat et al., 2010). Sin embargo, el proceso y las condiciones por las cuales la observación de una habilidad motora produce beneficios de aprendizaje aún no están claros. En un intento de aislar los efectos de la observación, los investigadores han hecho una distinción entre la práctica observacional y el aprendizaje observacional (Vogt y Thomaschke, 2007). En la primera, los sujetos aprenden a través de la visualización pura, sin ejecución de la habilidad motora, realizando la práctica física al finalizar la observación, mientras que en la segunda se

entremezclan la observación y la práctica física de la habilidad durante el tiempo total de práctica.

### **2.2.1. Aprender mediante la observación de un modelo sin práctica física**

Adquirir una habilidad motora implica a menudo la transferencia de información entre el instructor y el aprendiz. Esta relación permite acelerar el proceso de aprendizaje motor. Uno de los métodos más comunes y eficientes de transferencia implica el uso de demostraciones. Aprender mediante la observación de un modelo sin intercalar práctica física es un procedimiento recurrente y se conoce como “práctica observacional”. El uso de la observación de manera aislada como medio para adquirir la habilidad motora, permite conocer el rol desarrollado por esta en el aprendizaje motor. Varios autores parten de dos hipótesis diferenciadas para explicar este papel (Maslovat et al., 2010; Vogt y Thomaschke, 2007). La mediación temprana apunta que el sistema motor del observador es activado encubiertamente durante la observación, provocando que cualquier mejora en la realización de la habilidad motora después de esta se atribuya a la cantidad de información que el sistema motor ha recibido durante la etapa en que se ha producido la visualización. Se distingue de la mediación tardía en la naturaleza estratégica de esta última, asociada a las mejoras debidas a la observación, por la cual solo entiende la activación del sistema motor una vez se ha iniciado la práctica física.

La mejora del reconocimiento perceptual asociada a la práctica observacional provee avances significativos en la comprensión de la coordinación de una nueva tarea visomotora, aunque el rendimiento manifiesto no mejore. En este sentido, la práctica observacional ha demostrado ser tan efectiva como la práctica física en el reconocimiento de errores de una tarea, ya que permite identificar el *timing* correcto de ejecución y facilita la adquisición de comportamientos secuenciales (Black y Wright, 2000; Black, Wright, Magnuson y Brueckner, 2005). También tiene la propiedad de hacer que el observador adopte estrategias parecidas a las percibidas durante el visionado, sin importar el beneficio final que aporten. Al-Abood, Davids, Bennett, Ashford y Marin (2001) mostraron que los participantes que visionaron la demostración de la habilidad motora del lanzamiento de dardos ejecutaron un movimiento parecido y diferente al del grupo control. Estos hechos refuerzan la influencia de la observación en el aprendizaje motor y denotan la adquisición de conocimiento cognitivo estratégico asociado a la mediación tardía. Con todo, es importante mencionar que, cuando el conocimiento estratégico solo puede aplicarse con una efectividad limitada en la resolución de una habilidad motora, la práctica observacional no muestra las mismas mejoras de desempeño que resultarían de las tareas en las que una estrategia particular conduce a la resolución del problema motor. Por su parte, la mediación temprana adquiere protagonismo ante la observación de habilidades motoras ya aprendidas, siendo su aportación casi nula ante tareas nuevas para el aprendiz. Maslovat et al. (2010) proporcionaron evidencias en este sentido cuando, con el fin de sacar conclusiones sobre los procesos estimulados por la práctica observacional, su experimento quiso comprobar el desarrollo de la discriminación visual en una tarea de coordinación bimanual. Con ello pretendieron observar cómo afecta la observación a la percepción y a la

producción del patrón de movimiento. Los resultados contrastaron que, ante una habilidad motora novedosa para el sujeto, la observación aportó beneficios en el desempeño perceptivo y cognitivo, y no en el desenvolvimiento motor en comparación con el grupo control, necesiándose de la práctica física para mejorar el comportamiento. Según Hodges (2017), tales afirmaciones realzan la capacidad de la observación de determinar lo que se desea ejecutar, otorgándole mucha más importancia en el devenir del qué hacer y no en el cómo se está haciendo. Esto, unido al potencial de la observación de aumentar la percepción de eficacia del sujeto, hecho probado por Hodges y Coppola (2015) mediante la observación de un movimiento de malabarismo con dos pelotas utilizando práctica observacional en ausencia de práctica física, deja en un segundo plano la concepción simplista que entiende la observación únicamente como una herramienta para evaluar el desempeño deseado, y la dota de argumentos para acogerla como un instrumento necesario y útil para el aprendizaje motor.

### **2.2.2. Aprender mediante la observación y la práctica física**

El aprendizaje observacional es el término utilizado por la ciencia para nombrar el proceso mediante el cual se combina la observación de un modelo y la práctica física por parte del aprendiz para replicar un movimiento (observación-práctica-observación) (Vogt y Thomaschke, 2007). Maslovat et al. (2010) especifican que esta estrategia ha demostrado ser más eficaz que la simple práctica física o la utilización de instrucciones verbales solas para el aprendizaje motor. Exponen que permite aprender con más inmediatez y mantener las ventajas asociadas al aprendizaje motor más tiempo que el descubrimiento guiado, ya que mejora la

forma, el resultado, el recuerdo y el reconocimiento del movimiento. Al mismo tiempo, refuerza la toma de decisiones y la confianza del sujeto en la ejecución, reduciendo el miedo y la ansiedad que produce. Shea, Wulf y Whitacre (1999) ratifican lo manifestado, explicando que, invirtiendo el mismo tiempo y la mitad de los recursos, los aprendices alcanzan niveles superiores de rendimiento.

La efectividad del aprendizaje observacional depende de la interacción entre el observador, el modelo y la tarea. La ocupación principal de la investigación científica especializada ha sido desarticular la compleja relación existente entre los tres elementos mencionados para aportar luz respecto a los procesos útiles para el aprendizaje motor. La perspectiva de la percepción visual (Scully y Newell, 1985), la cual reflexiona sobre qué parte de la información visual utiliza el observador durante el proceso de aprendizaje observacional, se utiliza como base para sustentar la investigación. Los investigadores manifiestan como hipótesis que la información relativa al movimiento que define las relaciones espacio-temporales entre las extremidades y las articulaciones se percibe directamente y, en consecuencia, es la información restrictiva necesaria para una percepción exitosa y la reproducción de la habilidad motora. La hipótesis que surge, como resultado de la incertidumbre creada, quiere responder sobre la eficacia de la utilización de información adicional al movimiento relativo más visible. La información mínima presentada, junto a la práctica física, se representa mediante puntos de luz asociados a las articulaciones que participan en la realización del movimiento (Figura 2-2). Tal y como expone Hodges (2017), en los deportes hubo alguna evidencia de que los modelos de puntos de luz eran potencialmente

un dispositivo útil para transmitir el movimiento relativo y fomentar el aprendizaje observacional. Por ejemplo, para el aprendizaje motor de las acciones de la danza, se presentaron pruebas de que este tipo de modelo era más eficaz que un modelo de vídeo (Scully y Carnegie, 1998). No obstante, y a pesar del entusiasmo inicial mostrado por los investigadores, los efectos positivos significativos no se replicaron en las comparaciones de los modelos de vídeo y de puntos de luz en una tarea de lanzamiento de dardos (Al-Abood et al., 2001), de lanzamiento de bolos (Breslin, Hodges, Williams, Curran y Kremer, 2005; Breslin, Hodges, Williams, Kremer y Curran, 2006), ni en varios estudios que reprodujeron la habilidad técnica del chute en fútbol (Hodges, Hayes, Breslin y Williams, 2005; Horn, Williams, Scott y Hodges, 2005). Si bien la demostración completa del movimiento en puntos de luz no es eficiente para el aprendizaje motor, se ha demostrado que la información del efector final sí que lo es, priorizándose en estudios de aprendizaje observacional (Breslin, Hodges y Williams, 2009). También se han encontrado beneficios asociados a la observación del punto final de la trayectoria de la habilidad motora, en lugar de la habilidad motora real (Hodges, Hayes, Eaves, Horn y Williams, 2006). Estos hallazgos subrayan la importancia creciente del enfoque de atención externo para la adquisición de habilidades motoras, ya que resaltan la idea de que cualquier cambio en la coordinación técnica de la habilidad de la persona que lo aproxime más al modelo, no debe entenderse como evidencia de que el movimiento relativo presentado ha sido utilizado durante el aprendizaje motor. En vez de eso, propone centrarse en la interacción de los factores, por encima de la prescripción restrictiva en la creación de comportamientos.

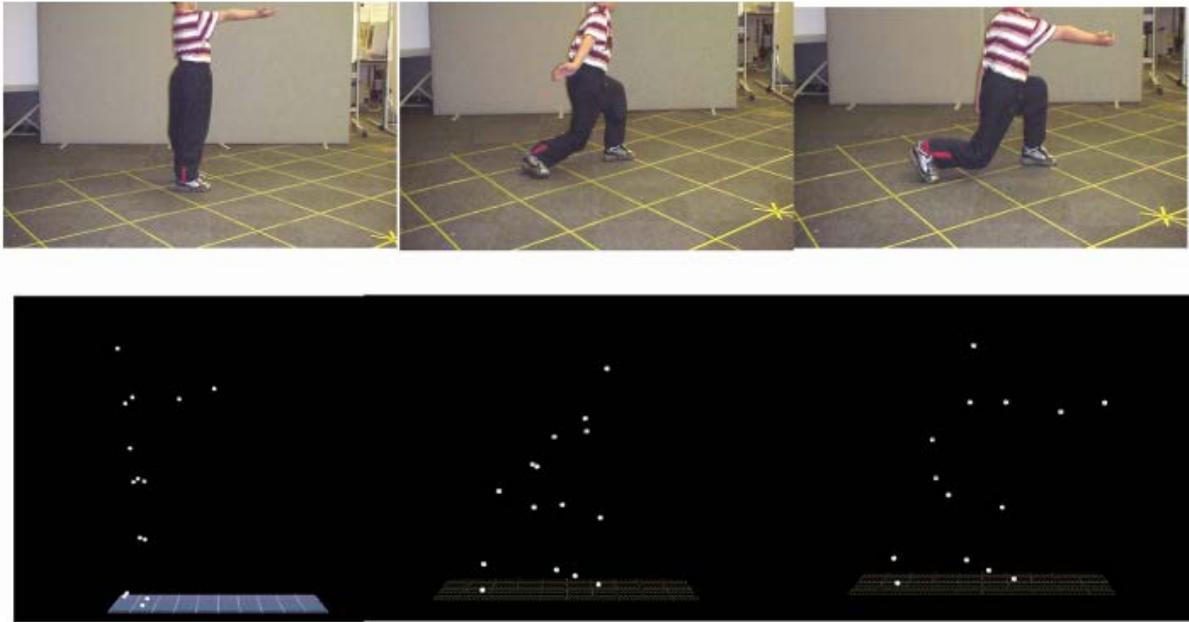


Figura 2-2. Fotogramas representados a través de puntos de luz (Hodges, 2017).

El tipo de movimiento observado y su aprendizaje motor también ha sido motivo de estudio. Dependiendo de las características de la tarea, varía la relevancia que adquiere el aprendizaje observacional. Tal y como muestran Ashford et al. (2006) en el metaanálisis que realizaron, la observación fue más beneficiosa ante movimientos seriales que ante movimientos continuos o movimientos discretos. Simultáneamente, las tareas en las que la memoria y la cognición tenían más importancia que el aprendizaje motor, también respondieron mejor ante la observación, siendo las más afectadas las que enlazaban acciones relativamente simples con limitaciones entre la interacción de los componentes. Además, Maslovat et al. (2010) añaden que, junto a todo lo mencionado, se debe tener en cuenta que la efectividad de las demostraciones dependerá de si el movimiento es la finalidad o este es el objetivo perseguido.

Siendo en este último caso relevante la variedad de opciones existentes para conseguirlo. A más opciones, menos efectividad tendrá el modelo visualizado.

La influencia en el aprendizaje observacional del modelo observado ha sido otro de los objetos de estudio. La investigación ha valorado las repercusiones provocadas por la observación de otros y la propia observación. En el primer caso, se ha centrado en las diferencias existentes en el aprendizaje motor de la visualización de modelos pares y no pares (es decir, de género y edad semejantes entre observador y modelo, o no), y modelos expertos y no expertos (modelos que ejecutan perfectamente la habilidad motora observada ante aprendices). En el segundo caso, se ha diferenciado entre la autoobservación y el automodelado (reproducción del vídeo sin editar frente a vídeo editado) (Ste-Marie, Vertes, Law y Rymal, 2013). Los resultados del primer planteamiento son interesantes, pues en contra de la lógica, que induce a pensar que el mejor aprendizaje motor es el aportado por un modelo experto, se demuestra que, en la mayoría de los casos, visualizar a un aprendiz resulta más eficiente. Además, si este modelo es un modelo par, aún existe más transferencia, ya que la identificación es mayor (Meaney, Griffin y Hart, 2005). Schmidt y Lee (2011) subrayan que, si a lo mencionado sumamos *feedback* que resalte los errores existentes en la visualización, el aprendiz entra a formar parte de un entorno de observación dinámico que le permite conseguir información de diversas fuentes: a) del modelo, la ejecución del movimiento (información visual y auditiva); b) del *feedback* extrínseco, las correcciones extraídas del modelo, y c) de la observación del siguiente intento, la utilización por parte del modelo del *feedback* reportado. En el segundo planteamiento, se podría esperar que la observación del yo funcionara mejor que

la observación de otro. La literatura existente indica mayoritariamente que así es, existiendo más investigación enfocada a la autoobservación que al automodelado (Clark y Ste-Marie, 2007; Oñate et al., 2005). En diseños que utilizan automodelado no hay consenso sobre su eficacia entre los investigadores (Barzouka, Bergeles y Hatziharistos, 2007; Clark y Ste-Marie, 2007).

### **2.3. La información observada**

La información percibida por el aprendiz viene proporcionada por dos tipos de *feedback*. El *feedback* intrínseco es aquel que obtiene el sujeto por sí mismo mediante los distintos receptores sensoriales y que es inseparable a la habilidad motora realizada (Magill, 2011). El *feedback* extrínseco engloba toda aquella información que obtiene el sujeto sobre su propia ejecución de manera externa a él mismo. Complementa o aumenta la información obtenida mediante el *feedback* intrínseco y permite al sujeto conocer y distinguir las señales inherentes y desarrollar un mecanismo de detención del error (Figura 2-3) (Schmidt y Lee, 2011).

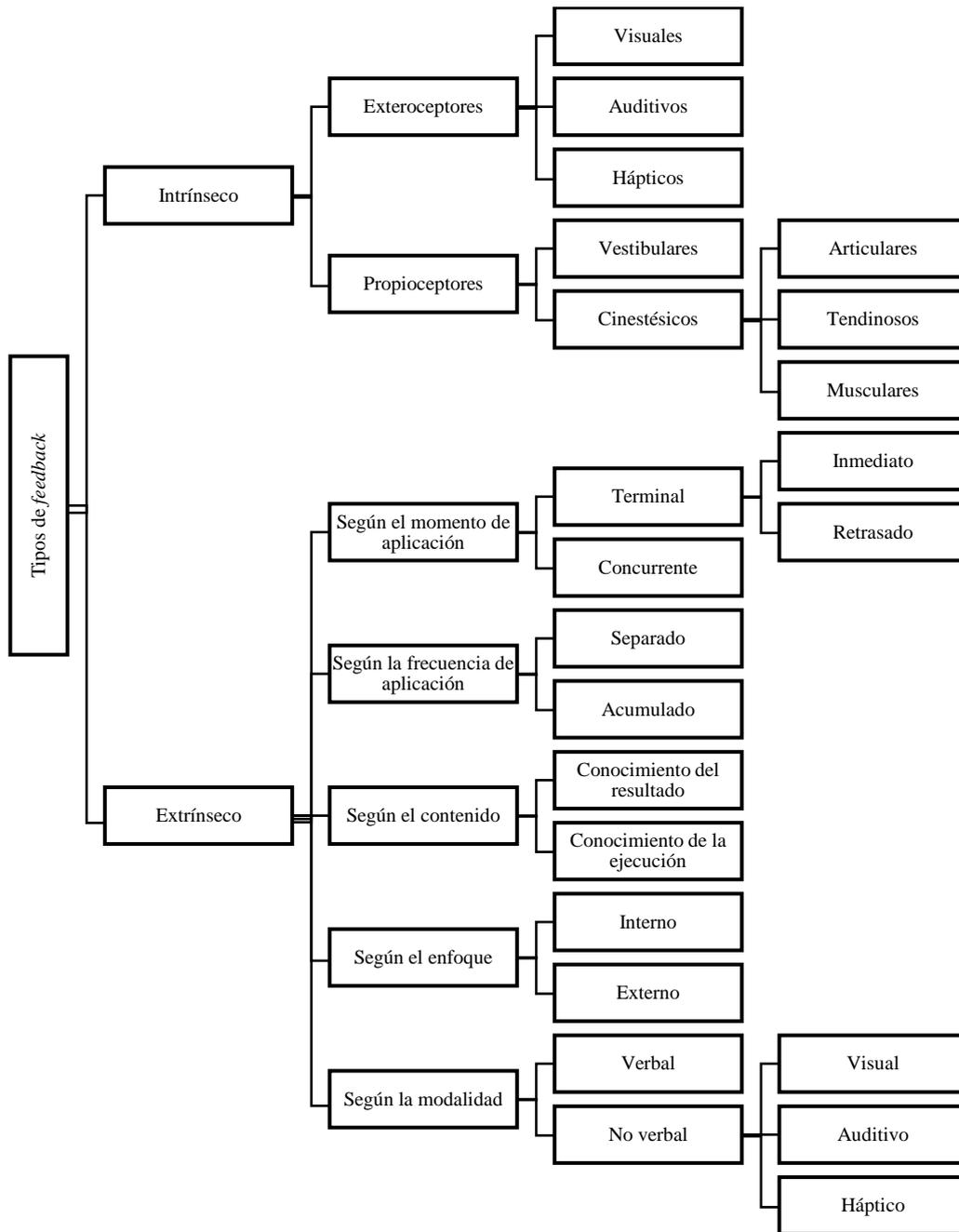


Figura 2-3. Tipos de *feedback* (adaptado de Magill, 2011; Schmidt y Lee, 2011).

La información transmitida mediante el *feedback* puede referenciar un gran número de ítems de la habilidad motora. Esta es propia del individuo en el antes, en el durante y en el después de la acción. Todos los movimientos que el ser humano puede realizar están vinculados a ciertas fuentes exteroceptivas y propioceptivas propias que proporcionan una base rica y variada de información útil para la evaluación del rendimiento de estos movimientos. Es bien sabido que la información intrínseca está presente siempre que se realiza una habilidad motora, ya que la información es constante (Magill, 2011). De hecho, en algunos casos la naturaleza del movimiento junto a la información transmitida por la fuente inherente puede llegar a permitir saber si el movimiento que se está realizando tendrá el efecto deseado antes de ser finalizado. En muchas otras ocasiones, estos mismos factores no aportarán dicha información hasta el final de la habilidad motora. Magill (2011) indica que la capacidad de interpretación de esta información inherente adquiere un rol destacado en la coordinación y ejecución del movimiento. Oña et al. (2007) añaden que, cuando un sujeto aprende por primera vez un movimiento, queda a expensas de la facilidad que tenga para identificar las señales que le vienen de manera intrínseca, pues es lo que le va a permitir descubrir las variaciones presentes en el movimiento y perfeccionar la ejecución. Dicha información es recibida a través de canales sensoriales. Cada uno de estos aporta un tipo de información y puede ser de carácter visual, auditiva, propioceptiva o táctil. De estos mensajes dependen aspectos tales como la precisión de la habilidad, su consistencia, los posibles ajustes de la fuerza aplicada al movimiento, la aparición temporal de las órdenes motoras o el control de la coordinación (Wolpert, Diedrichsen y Flanagan, 2011). Por su parte, el *feedback* extrínseco se subdivide en diferentes tipos en base a aspectos tales como el momento de aplicación, la frecuencia de aplicación, el contenido

expresado o la modalidad utilizada para hacer llegar el mensaje (Schmidt y Lee, 2011). También llamado “*feedback* aumentado”, puede ser, según el momento de su aplicación, terminal o concurrente. El *feedback* extrínseco terminal se proporciona una vez el sujeto ha concluido la realización de la habilidad motora. Este se puede dividir en “inmediato”, dado justo al terminar la acción, o “retrasado”, posterior a un intervalo de tiempo existente entre la finalización de la acción y el *feedback* aportado. El *feedback* extrínseco concurrente, que es abastecido por un elemento externo durante el transcurso de la habilidad, llega al sujeto a lo largo de la ejecución, sin esperar a su finalización. Si, por el contrario, el *feedback* aumentado depende de la frecuencia de aplicación, puede ser entendido como separado o acumulado. Cuando este corresponde a cada una de las ejecuciones y es suministrado posteriormente a cada una de ellas, se considera separado; en cambio, cuando concierne a un conjunto de acciones y se proporciona de manera global, es percibido como acumulado. Wulf, Hörger y Shea (1999) exponen la diferencia existente entre estos dos tipos de *feedback*. En el primero, la retroalimentación nombra información variada alternando el enfoque de atención en cada repetición. En el segundo, se repite el mismo enfoque de atención en un conjunto de repeticiones. Según Schmidt y Lee (2011), otra manera de distinguir el *feedback* extrínseco es según el contenido, que puede informar sobre el resultado o bien sobre la ejecución. El conocimiento del resultado menciona aspectos relacionados con el grado de éxito alcanzado con la ejecución de la habilidad motora, mientras que el conocimiento de la ejecución se centra en el desarrollo de esta. Los dos conocimientos pueden poseer un enfoque de atención interno o un enfoque de atención externo (Shea y Wulf, 1999; Wulf, Höß y Prinz, 1998; Wulf y Prinz, 2001). Si este específica aspectos propios del cuerpo del sujeto, es interno; si por el contrario informa sobre elementos adicionales

del cuerpo del sujeto, dando referencias funcionales, es externo. Sumado a todas estas dimensiones, Sigrist, Rauter, Riener y Wolf (2013) distinguen el *feedback* extrínseco según la modalidad en verbal y no verbal. Dentro de la segunda de ellas, encontramos distintas opciones, ya que la información puede ser transmitida visualmente, de manera auditiva y hápticamente (a través del tacto). Obviamente, también existe la posibilidad de relacionar unas modalidades con las otras y hacer llegar el mensaje de manera multimodal (Figura 2-4) (Sigrist et al., 2013).

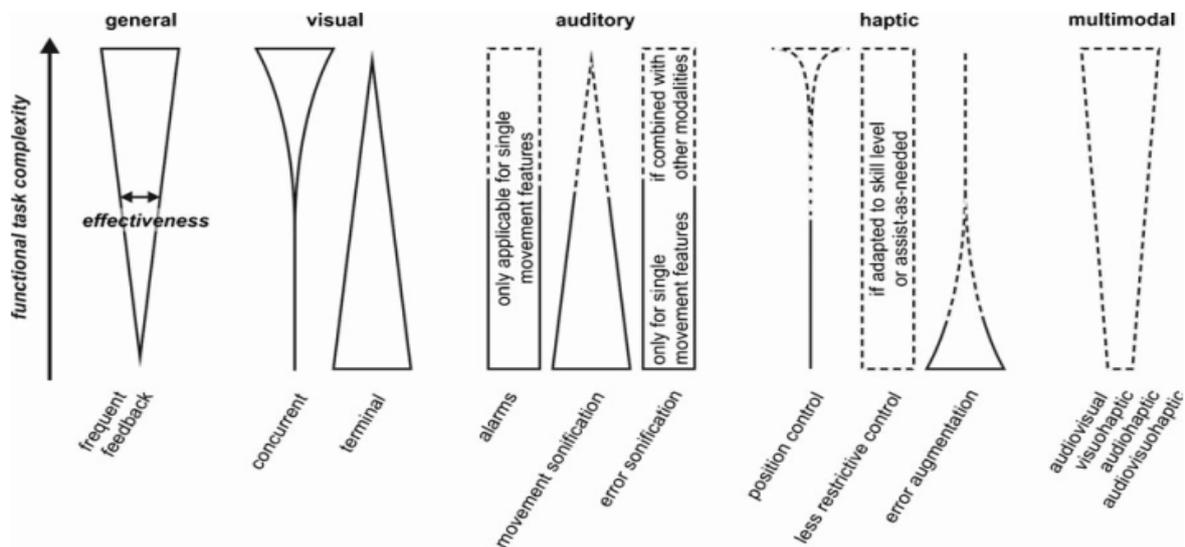


Figura 2-4. Tipos de *feedback* extrínseco no verbal (Sigrist et al., 2013).

La visión ocupa un sitio preferencial en el devenir del sujeto y su relación con el entorno. La visión surge como resultado de la transmisión de longitudes de onda de luz por parte de los receptores sensoriales de los ojos a la corteza visual del cerebro a través de las neuronas sensoriales que constituyen el nervio óptico (Tresguerres, Barreda y Bernues, 2009). Esta adquiere un rol predominante en la ejecución de habilidad motora, ya que aporta información sobre el movimiento de los objetos en el entorno. Su configuración anatómica, basada en el

órgano del ojo, extensión del cerebro con una capa de receptores, un sistema de lentes para enfocar y conectar la imagen y un sistema de axones para transmitir los potenciales de acción, permite poner en funcionamiento los componentes neuronales que constituyen y fundamentan su funcionamiento completo. Oña et al. (2007) reafirman que el órgano de la visión se encarga básicamente de captar la energía luminosa y transmitirla al córtex cerebral. Sin embargo, también ponen de manifiesto la importancia de este receptor en el ámbito del comportamiento motor, ya que ejerce una función de control sobre el movimiento de los objetos externos y al mismo tiempo sobre los segmentos propios, hecho muy relevante en las fases iniciales del aprendizaje motor. Paralelamente, resaltan las funciones propioceptivas que tiene, las cuales informan al organismo de sus posiciones y desplazamientos, ofreciendo una referencia válida para el movimiento global.

### **2.3.1. El *feedback* visual intrínseco**

La visión es considerada un sistema exteroceptivo que permite detectar eventos. Schmidt y Lee (2011) distinguen dos sistemas para captar la información externa. El primero es el sistema ventral (visión para la percepción). Este limita su entrada primaria a la visión central, necesita contraste, focalización y luz suficiente para aportar información y se centra en la detección e identificación de objetos y en una percepción minuciosa del entorno. Este sistema expresa qué mira el sujeto. El segundo es el sistema dorsal (visión para la acción). Su entrada visual comprende el campo completo. No necesita focalizar y opera sin necesidad de mucha luz. Aporta información respecto al control visual del movimiento y expresa cómo interactuar

con el objeto. La combinación de estos dos sistemas recoge toda la información visual. El estudio de la propiocepción visual se ha centrado en la percepción de la información dinámica visual. El punto más investigado hace referencia al uso de la información temporal y pregunta respecto al tiempo estimado de contacto entre un objeto en movimiento y un sujeto (Lee, 2009; Merchant y Georgopoulos, 2006). La información visual que responde a este hecho se sustenta en el tiempo que tarda en expandirse el móvil en la imagen retiniana ( $\tau$ ). Cuanto más rápidamente se acerque, más rápidamente se expandirá la imagen (Figura 2-5).

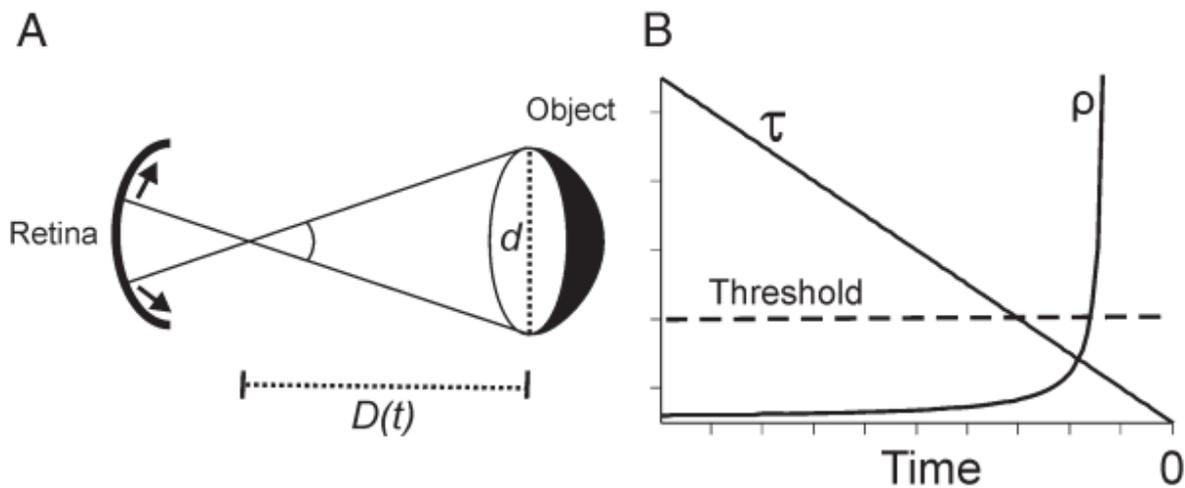


Figura 2-5. Diagrama de un objeto esférico acercándose a velocidad constante al ojo (Merchant y Georgopoulos, 2006).

Otro aspecto investigado de la información propioceptiva visual ha sido la detección del tiempo mínimo estimado para procesar el *feedback* visual ante objetos estáticos. Muchos han sido los autores que han buscado este tiempo y han intentado identificar qué aporta esta visión (Elliott, Helsen y Chua, 2001; Hansen, Cullen y Elliott, 2005; Khan, Elliott, Coull, Chua y Lyons, 2002). Las conclusiones extraídas exponen que el tiempo mínimo aproximado para que

la visión aumente la precisión del movimiento objetivo, y disminuya la duración de este, está alrededor de 40 ms. En este mismo estudio, que requería pulsar un interruptor con la mano izquierda (todos los sujetos de la muestra eran diestros) al percibir el estímulo visual (visionado durante 40 ms, 30 ms, 20 ms, 10 ms y sin visionar), Hansen (2010) probó además que el conocimiento del contexto visual inminente puede afectar el comportamiento posterior del individuo. Tremblay, Hansen, Kennedy y Cheng (2013) y Kennedy, Bhattacharjee, Hansen, Reid y Tremblay (2015) verificaron este hallazgo (dejaron la marca en 43 ms), manifestando que la condición de visión temprana (0.8-1.4 m/s) parece representar el periodo o desplazamiento que más contribuye a controlar la consistencia de alcanzar amplitudes de movimiento sin incurrir en costos temporales. Bien es cierto que autores como Schmidt y Lee (2011) sugieren que es probable que ninguna estimación única y absoluta del tiempo para procesar la retroalimentación visual sea correcta. La naturaleza de la tarea, el tipo de información visual disponible y la previsibilidad de esta información afectan de manera relevante a la velocidad y eficacia del uso de la información visual.

Las investigaciones también se han centrado en las acciones dinámicas de interceptación y concluyen que el tiempo necesario es diferente, siendo más tiempo el utilizado en este último caso (Savelsbergh y Davids, 2002). Dejando a un lado este aspecto, es destacable también que la gran mayoría de las habilidades motoras que realizamos diariamente son ante objetos en movimiento, sobre todo en el mundo del deporte (Dessing, Wijdenes, Peper y Beek, 2009). Caljouw, Van der Kamp y Savelsbergh (2004 a y b) exponen que, para realizar una interceptación exitosa, la información espacial y temporal sobre cuándo y dónde interceptar el

objeto es imprescindible. Además, también es importante tener presente que la información binocular contribuye en la correcta sincronización de la acción de interceptación, y que esta no se basa únicamente en información extraída de  $\tau$  (Scott, van der Kamp, Savelsbergh, Oudejans y Davids, 2004). La propiocepción visual aporta información temporal de cuándo interceptar un objeto y de dónde interceptarlo. Estos datos permiten anticipar la habilidad motora posterior. McLeod y Dienes (1996), ante el estudio del dónde, simularon la situación en la que un jugador de béisbol debe desplazarse para ir a buscar la pelota bateada. Para ello colocaron al jugador a 45 m de una máquina lanza pelotas que proyectaba la pelota hacia el aire directamente hacia él con un ángulo de proyección de  $45^\circ$ . Para modificar las entregas, la velocidad se varió aleatoriamente en un intervalo de aproximadamente 20-25 m/s, de manera que la pelota sobrepasara su posición o se quedara corta. En base a este estudio, establecieron que el ángulo de elevación de la mirada entre el sujeto y el objeto aporta la información clave para tomar las decisiones sobre dónde ir a interceptarlo (Figura 2-6). Numerosas investigaciones establecen que la relación ajustada entre la información visual y la velocidad de desplazamiento (capacidad de acelerar o desacelerar del sujeto) es determinante en la consecución del lugar correcto para interceptar el móvil, especialmente cuando el receptor tiene que desplazarse lateralmente atendiendo a la trayectoria de la pelota (McLeod, Reed y Dienes, 2001, 2003, 2006; Shaffer y McBeath, 2002; Shaffer, McBeath, Roy y Krauchunas, 2003). La velocidad de marcha del receptor hacia el móvil se va ajustando mientras el ángulo de la mirada horizontal aumenta a una velocidad constante y el grado de aumento del ángulo de la mirada vertical disminuye (Schmidt y Lee, 2011).

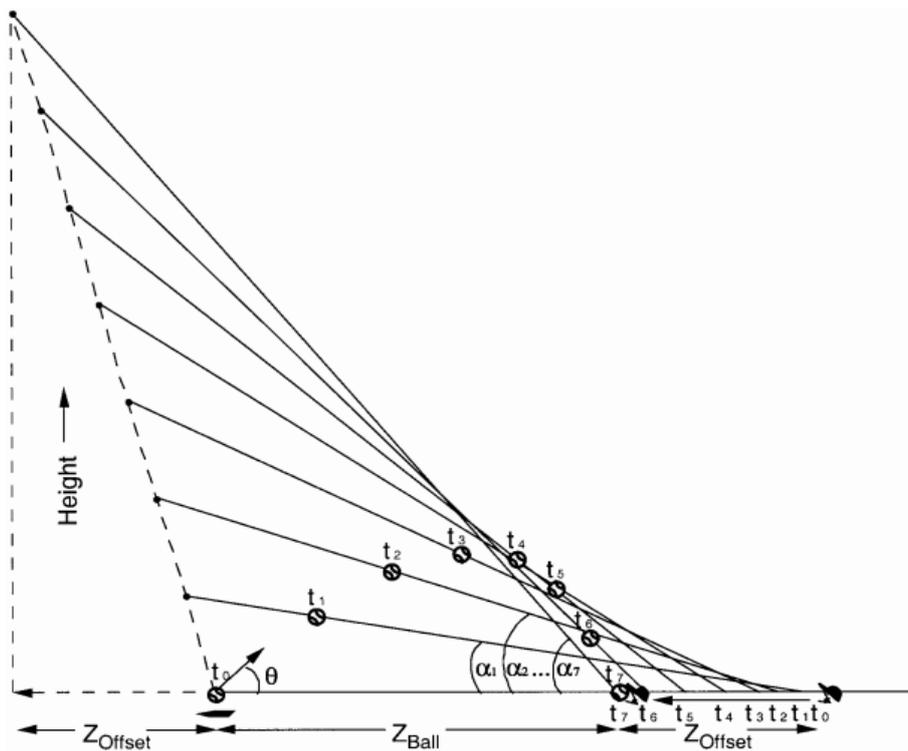


Figura 2-6. El modelo de cancelación óptica (Shaffer et al., 2003).

Finalmente, cabe decir que la visión también juega un papel relevante en el equilibrio y en la locomoción. La modificación de esta provoca cambios propioceptivos inmediatos en el equilibrio estático y dinámico, poniendo en alerta la musculatura postural compensatoria (Davlin-Pater, 2010; Sozzi, Monti, De Nunzio, Do y Schieppati, 2011). Se ha demostrado que los descensos ocurren cuando la agudeza visual disminuye (Schmid, Casabianca, Bottaro y Schieppati, 2008), cuando no se aporta información visual (Rougier, 2003) o cuando los individuos están expuestos a entornos visuales inclinados respecto su perspectiva frontal (Isableu, Ohlmann, Crémieux y Amblard, 1997). Es importante reseñar que la alteración de las señales visuales no afecta de la misma manera al equilibrio de cada individuo. El rol de la visión durante el caminar y el correr también parece estar muy influenciado por el flujo óptico de

información. Patla (1997) expone que la visión es única en su capacidad de proporcionar información sobre el entorno cercano y lejano casi instantáneamente. Información que sirve para la locomoción a nivel local (paso a paso) y a nivel global (planificación de rutas). En el mismo artículo, el autor enumera las características de la percepción visual que controlan la locomoción: a) el muestreo visual intermitente (adecuado para un viaje seguro en varios terrenos); b) la información visual sobre la postura corporal y el movimiento (prioritaria respecto a la de las otras modalidades); c) la información exteroceptiva sobre el medio ambiente (permite anticipar); d) la información propioceptiva sobre la posición y el movimiento de los miembros (útil para afinar la trayectoria de los miembros oscilantes), y e) la información propioceptiva proveniente del flujo óptico sobre el movimiento propio (garantiza un control continuado). La experiencia del sujeto influye mucho en la interpretación de esta información. Más recientemente se han planteado investigaciones que han corroborado que el *feedback* visual intrínseco permite desplazarse por el entorno de forma segura y eficiente (Mohagheghi, Moraes y Patla, 2004; Patla, 1997; Patla y Greig, 2006; Santos, Moraes y Patla, 2010).

### **2.3.2. El *feedback* visual extrínseco**

Las dos modalidades de *feedback* extrínseco más relevantes son el conocimiento del resultado y el conocimiento de la ejecución. El *feedback* extrínseco, clasificado como conocimiento del resultado, es un tipo de información que se administra de manera extrínseca, verbal (o verbalizable), terminal y sobre el resultado final de la habilidad motora. Informa al aprendiz del impacto alcanzado respecto al objetivo perseguido por la habilidad que ha

realizado. Puede estar compuesto por la combinación de varias modalidades de *feedback* extrínseco, llegando a nombrar aspectos muy específicos del efecto de la acción, incluyendo al mismo tiempo expresiones gratificantes que manifiesten el buen hacer del sujeto. En cambio, la información transmitida mediante el conocimiento de la ejecución refiere sobre los patrones de la habilidad motora (Schmidt y Lee, 2011). Los dos son susceptibles de ser presentados utilizando los dos tipos de enfoques existentes. Está comprobado que las instrucciones que dirigen el enfoque de atención hacia los movimientos del sujeto y se refieren a partes del cuerpo son relativamente ineficaces. Por el contrario, dirigir el enfoque de atención sobre los efectos del movimiento del individuo en el medio ambiente da como resultado un rendimiento y aprendizaje motor más efectivo. Su efecto positivo favorece a la efectividad y eficiencia del movimiento, acelerando el proceso de aprendizaje, o acortando las primeras etapas de este, ya que facilita la automaticidad de la habilidad motora (Wulf, 2007, 2013). Un enfoque de atención externo, focalizado en el efecto del movimiento, promueve la utilización de procesos inconscientes o automáticos, mientras que un enfoque de atención interno, centrado en los propios movimientos, da lugar a un tipo más consciente de control que restringe el sistema motor e interrumpe los procesos manifestados (Wulf, Shea, et al., 2010). Wulf (2016) puntualiza que desatender el enfoque de atención interno no significa menospreciar la información intrínseca. La adopción de un enfoque de atención externo no impide que el ejecutante sea consciente de sus movimientos corporales. Indica que se centra en el efecto del movimiento deseado. La realización de un enfoque de atención externo está vinculada con la planificación del movimiento y no tiene nada que ver con el procesamiento del *feedback* intrínseco o la conciencia corporal. La comprobación de este hecho se ha realizado en multitud

de habilidades y grupos de personas e incluso se ha validado cuando la preferencia del ejecutante era el enfoque de atención interno, en vez del enfoque de atención externo (Wulf, Shea y Park, 2001). Destacables son los hallazgos que atienden a la efectividad del movimiento en tareas de equilibrio (Wulf et al., 1998) y precisión (Wulf y Su, 2007). En este último estudio los autores, mediante un test dirigido a golpear pelotas de golf hacia una diana, comprobaron que el enfoque de atención utilizado tiene impacto sobre la ejecución de la habilidad motora, siendo el más positivo el enfoque de atención externo. Además, evidenciaron que la utilización de un enfoque de atención interno y la no utilización de ningún enfoque de atención tiene el mismo impacto sobre el rendimiento, confirmando su poca utilidad para golfistas expertos. Otros autores han comprobado estos hallazgos relacionados con la experiencia del sujeto en la ejecución de la habilidad, encontrando los mismos resultados (Guss-West y Wulf, 2016) o resaltando su relevancia ante practicantes inexpertos (Marchant, Clough y Crawshaw, 2007; Porter, Wu, Crossley, Knopp y Campbell, 2015). El enfoque de atención externo disminuye la activación muscular, aumenta la producción de fuerza, de velocidad y mejora la capacidad de resistencia. Especialmente significativas son las conclusiones aportadas por Zachry, Wulf, Mercer y Bezodis (2005) sobre este tema. Sugieren que el enfoque de atención interno parece restringir no solo la acción de la parte del cuerpo en la que se centra el individuo, sino también la acción de otras partes del mismo, efectos contraproducentes para el aprendizaje motor. Ellos observaron que la actividad muscular mediante EMG era menor mientras los participantes adoptaban un enfoque de atención externo (la canasta), en comparación con un enfoque de atención interno (el movimiento de la muñeca) durante un tiro libre de baloncesto. Junto a esto, hay que añadir que el análisis de la cinemática del movimiento y cinética utilizados en algunos

estudios, más valoraciones realizadas por especialistas deportivos, han demostrado que los patrones de coordinación de todo el cuerpo se optimizan con el enfoque de atención externo (Wulf, Chiviakowsky, Schiller y Ávila, 2010; Wulf y Dufek, 2009).

Zubiaur (1998) reflexiona acerca de la funcionalidad del conocimiento de la ejecución. Este es más efectivo ante habilidades motoras cerradas, en donde el medio externo permanece estable y la ejecución correcta del patrón de movimiento es lo esencial. No obstante, para la autora no es indicativo suficiente para no utilizarlo en habilidades motoras abiertas, donde la elección de la acción correcta en el menor tiempo posible es lo fundamental. Su justificación radica en la relativa invariabilidad de muchos de los patrones que se repiten en las habilidades abiertas, así como de un gran número de estímulos ambientales. Lo cual supone, en muchos casos, una orientación en la dirección adecuada sobre cómo realizar la programación motriz. Además, realza los inconvenientes relacionados con el conocimiento del resultado, siendo la escasa generalización de la investigación llevada a cabo, la redundancia de la información aportada por este tipo de *feedback* extrínseco atendiendo a la información intrínseca, y la falta de información que aporta sobre qué hacer en el siguiente ensayo, un punto débil que puede solventar el conocimiento de la ejecución. En el campo profesional se utiliza más este tipo de *feedback* que el conocimiento del resultado y se considera más efectivo para corregir las habilidades motoras erróneas de los aprendices. Aunque existen situaciones en que los objetivos y los resultados de la tarea coinciden con sus índices de eficacia, haciendo que el *feedback* del conocimiento del resultado y el del conocimiento de la ejecución sean el mismo, lo normal es que esto no pase. Discriminar sobre el tipo de información que se debe aportar es un dilema

latente y arduo de abordar, ya que los investigadores se han encontrado con muchas dificultades a la hora de llevar su estudio al laboratorio y es difícil de replicar. A continuación, revisaremos los descubrimientos hallados en cada caso, poniendo especial énfasis en los encontrados en el aprendizaje observacional.

### **2.3.2.1. El conocimiento de los resultados**

El contenido de la información que se aporta al ejecutante se focaliza en mejorar la respuesta que este ofrece. La precisión con la que se expone, de manera más cualitativa y/o más cuantitativa, afecta al aprendizaje motor. La evidencia sugiere que hay algún beneficio en proporcionar información sobre la magnitud (cuantitativa) del error, pero esta información es mucho más útil si también se especifica la dirección (cualitativa). El modelo *bandwidth KR* se ha utilizado como alternativa a la hora de expresar la precisión del conocimiento del resultado. Este plantea establecer un rango aceptable por el que puede sucederse el resultado de la ejecución, suministrando *feedback* extrínseco que referencia el éxito de la habilidad motora cuando lo acontecido queda dentro, y manifestando la dirección y la magnitud cuando queda fuera de los límites establecidos. Badets y Blandin (2005) investigaron si este planteamiento tenía efecto en el aprendizaje observacional. Para ello establecieron un test en el que dos grupos ( $n = 28$ ) observaban un modelo que practicaba una tarea temporal. La diferencia entre estos dos grupos venía marcada por la especificación durante el conocimiento del resultado de que el ensayo que habían realizado estaba fuera del rango y comentaba un error. Después de la fase de observación, ambos grupos de participantes realizaron pruebas de retención 10 min y 24 h

más tarde. Los resultados obtenidos mostraron que el grupo al que se le administró el modelo de *bandwidth KR* redujo la variabilidad en su rendimiento y, en menor medida, mejoró la precisión del movimiento.

La información suministrada también provoca motivación hacia la tarea, creando interés hacia ella y haciendo que el sujeto se esfuerce por realizarla correctamente. Guía también el aprendizaje motor, ya que reorienta continuamente la siguiente habilidad hacia el objetivo perseguido, modificando el movimiento empleado en base a si se han dado los resultados esperados o no. Y además, establece un efecto que crea un alto nivel de relación entre estímulo y respuesta (Wulf y Lewthwaite, 2016). La frecuencia de aplicación del conocimiento del resultado es una variable determinante en este aspecto. Nuevamente Badets y Blandin (2004) nos aportan información respecto a la relevancia que adquiere en el aprendizaje observacional. Los autores examinaron si una frecuencia reducida del conocimiento del resultado durante la observación de un movimiento temporal por parte de un modelo mejoraba el aprendizaje motor. Crearon tres grupos diferenciados según la frecuencia de observación. El primero observó el 100% del conocimiento del resultado, el segundo el 33% y el último solo recibió práctica física. Tras finalizar los test de retención, se comprobó que reducir la frecuencia de observación del conocimiento del resultado benefició el aprendizaje de la habilidad motora, ya que focalizó la atención de los sujetos a las correcciones especificadas y potenció el camino hacia la ejecución eficiente. Más tarde, Badets, Blandin, Wright y Shea (2006) encontraron resultados semejantes, aumentando la estabilidad de la respuesta y mejorando la precisión, replicando un experimento parecido que extendía la frecuencia de observación del conocimiento del resultado por parte de

un modelo en uno de cada dos ensayos. Este hallazgo confirmó el papel de la frecuencia del conocimiento del resultado en el aprendizaje observacional, y sugirió que un observador puede tomar ventaja del conocimiento del resultado disponible durante la práctica física para mejorar la representación de la habilidad motora y posteriormente utilizarla para su ejecución. Según Oña et al. (2007), todo lo mencionado hace que se incremente la probabilidad de la respuesta en la dirección deseada y que se reduzca el error, satisfaciendo las expectativas que demanda el sujeto en cuanto a aportar claves de eficacia que le ayuden a la consecución de los objetivos, aportando información no redundante y permitiendo generar sus propios mecanismos intrínsecos para la consecución autónoma de los objetivos.

### **2.3.2.2. El conocimiento de la ejecución**

En el estudio del conocimiento de la ejecución se han utilizado distintas formas de comunicar los aspectos de la habilidad motora que resultan importantes para el aprendizaje. La escasa literatura existente en este ámbito se centra en la información, realizando un análisis de la habilidad, las claves de eficacia, orientando hacia los objetivos y la observación de las categorías que intervienen en el movimiento (Oña et al., 2007). Su utilidad reside, básicamente, en que el sujeto tiene más información que le permite saber qué hacer en el ensayo siguiente. Zubiaur (1996, 1998) distingue el conocimiento de la ejecución basado en el análisis del movimiento, el *feedback* extrínseco cinético y cinemático y el conocimiento de la ejecución transmitido en vídeo. En la primera manera, se analiza previamente la habilidad motora, se descompone en unidades de conducta fácilmente observables y el experimentador selecciona

aquellos aspectos que considera más importantes para la correcta ejecución y que formarán parte del *feedback* que se dará al sujeto. Lo interesante de la metodología que transmite el conocimiento de la ejecución basado en el análisis del movimiento, es que se aproxima mucho a la forma que en la práctica real se transmite la información. Así, la utilización de la observación sistemática y el análisis del patrón del movimiento sirven para comunicar al sujeto los elementos relevantes sobre su ejecución. El *feedback* extrínseco cinético y cinemático también se ha planteado como posible método para transmitir el conocimiento de la ejecución. La misma autora expone que los parámetros cinemáticos se refieren a las características del movimiento de los diferentes segmentos corporales, independientemente de las causas que lo producen (medidas de posición, desplazamiento, tiempo, velocidad y patrones de coordinación), mientras que los aspectos cinéticos hacen referencia a las fuerzas que producen esas características cinemáticas del movimiento. Una característica clave de este tipo de *feedback* es que informa a los sujetos sobre algún aspecto del movimiento que, de otro modo, es difícil de percibir. Su efecto depende de la naturaleza del objetivo de la tarea y se ve potenciado cuando su contenido especifica información que, de otro modo, no se puede generar a partir del *feedback* intrínseco o de otros tipos de *feedback* extrínsecos. Sus características lo contraponen a los descubrimientos asociados al enfoque de atención externo como elemento esencial para mejorar el aprendizaje motor. Por ese motivo, este planteamiento está en pleno desarrollo. Se está realizando un gran esfuerzo por parte de los autores para superar las dificultades metodológicas que plantea y hay un gran interés por encontrar la receta más adecuada de presentar esta información y demostrar lo que todos intuyen, su gran utilidad. El conocimiento de la ejecución transmitido en vídeo es la última forma manejada. El desarrollo de los medios

audiovisuales ha proporcionado una forma objetiva de informar al sujeto sobre su habilidad motora de una manera bastante rápida. Tiene las características de contener el registro de toda la actuación, y el individuo puede detectar errores directamente y tratar de corregirlos en el siguiente ensayo. La investigación dedicada a la comunicación por vídeo en el deporte es bastante amplia, y se repasará profundamente en el punto 2.4. En este apartado nos centraremos en exponer los factores que afectan su utilización a la hora de aportar la información concerniente al conocimiento de la ejecución. La primera variable que considerar tiene relación con el sujeto. La experiencia de este realizando la habilidad motora puede suponer un elemento potenciador o limitante. La cantidad de información suministrada a través del vídeo es mayor en ocasiones que la que el aprendiz es capaz de asimilar, impidiendo su aprovechamiento al no poder focalizar sobre los elementos importantes. Si, por el contrario, existe esta puntualización, el aprendizaje motor se ve beneficiado, independientemente de la capacidad de ejecución. Desde el punto de vista de la tarea, las variables detonantes tienen que ver con si la habilidad motora es abierta o cerrada y simple o compleja. Tal y como comentan Sigrist et al. (2013), el *feedback* visual en vídeo concurrente es bastante desfavorable para el aprendizaje de tareas motoras simples. Sin embargo, no se puede excluir que el aprendizaje de este tipo de tareas motoras pueda beneficiarse de una retroalimentación simultánea si la práctica física incluye ensayos sin retroalimentación o se combina con retroalimentación terminal. En cambio, para las habilidades motoras complejas, contradiciendo la hipótesis de guiado, el *feedback* extrínseco concurrente tiene efectos positivos. Respecto a las variables relacionadas con el procedimiento utilizado, parece ser que las que dirigen el enfoque de atención y la cantidad de práctica física tienen relevancia en el aprendizaje motor (Zubiaur, 1996, 1998). Es interesante mencionar en

este sentido las conclusiones aportadas por Weeks y Kordus (1998) respecto a los beneficios obtenidos mediante la reducción de la frecuencia del conocimiento de la ejecución a un 33% en una habilidad técnica del chute de fútbol en sujetos de 11 a 14 años, pues, sin ser concluyentes los resultados, y siendo necesario aumentar la investigación, se ha demostrado que el vídeo refuerza la información, permitiendo mejorar la interpretación del sujeto.

## **2.4. Efectos del *feedback* visual en vídeo en el aprendizaje motor**

Hasta el momento se han realizado investigaciones acerca del rol de las distintas estrategias visuales utilizadas para el aprendizaje motor, como la observación o la imitación. La mayoría de estas se han basado en el *feedback* visual en vídeo, aplicándolo de diferentes formas. Examinando el uso que hacen de la estrategia del modelado para el aprendizaje y la utilización del vídeo como herramienta para proporcionar *feedback*, Amara et al. (2015) distinguen la utilización de tres tipos de *feedback* visual en vídeo para el aprendizaje motor: a) el automodelado; b) el modelado a través de un experto, y c) la superposición de modelos. El primero es un modelo de aprendizaje observacional en el que el observado y el observador son la misma persona. En el segundo caso, el observado y el observador son diferentes sujetos, mientras que la superposición de modelos presenta una combinación de ambos. Riera (2005), cuando propone un modelo de análisis y clasificación de las habilidades en su libro *Habilidades en el deporte*, destaca el *feedback* como un elemento esencial en los procedimientos de

aprendizaje motor, habla de la necesidad de incrementar el *feedback* desde el punto de vista de la frecuencia y la calidad. Cassidy, Stanley y Bartlett (2006) afirman que, para obtener mayores beneficios del uso de la tecnología de vídeo y la información que proporciona, debe haber una relación sólida entre las habilidades motoras que se están enseñando y el contenido del vídeo que se está visualizando. Además, especifican que es esencial tener en cuenta lo que se está observando, cómo se observa y la identidad del observador, enfatizando que, antes de usar dicha tecnología para dar *feedback*, se debe establecer un código para transmitir la información. Hoy en día las cámaras de vídeo de alta velocidad, al ser completamente electrónicas, son capaces de grabar más de 1000 fotogramas por segundo (fps) en la memoria interna y reproducir imágenes en *high-definition* lentamente para analizar el movimiento para el estudio científico (Balch, 1999). Por ejemplo, el iPhone 6 puede grabar 240 fps a 720 píxeles en *high-definition*, parámetros que frenan la reproducción del vídeo a una décima parte de su velocidad original, ofreciendo un vídeo de vuelta en una cinemática regular de 24 fps. Aspecto que potencia la afirmación de Lee (2014), cuando especifica que la reproducción del vídeo a cámara lenta mejora la experiencia observacional y el análisis del movimiento deportivo, al reducir la velocidad del vídeo aumentando el número de imágenes visionadas por segundo. La literatura especializada ha estudiado el efecto producido por el *feedback* visual en vídeo en el aprendizaje de una habilidad motora a través de una gran variedad de planteamientos científicos y en muchos deportes diferentes, mostrando conclusiones dispares (Groom, 2012). Aún es más escasa la literatura que ha examinado la influencia de la velocidad del vídeo sobre los efectos observacionales en el aprendizaje motor de un movimiento deportivo, aspecto relevante atendiendo a las características de la reproducción de la imagen del vídeo en alta velocidad. De

hecho, la mayoría de los estudios encontrados se han centrado en las características de los movimientos ejecutados, obviando su posible contextualización (Teeling, 2016). Esto hace que las comparaciones precisas entre los casos sean difíciles. A continuación, analizaremos el estado de la cuestión indicando el tipo de *feedback* visual en vídeo utilizado según la velocidad de visionado y la habilidad motora del deporte practicado.

### **2.4.1. Efectos del *feedback* visual en vídeo a tiempo real**

A lo largo de los años se han utilizado una gran variedad de procedimientos de *feedback* visual en vídeo en distintos deportes como escenario para investigar el efecto del *feedback* visual en vídeo a velocidad real sobre el aprendizaje motor. Sin disponer cada una de ellas de un bagaje extenso de investigaciones, esto ha permitido poner nuestro elemento de estudio en práctica a través de infinidad de planteamientos. La gimnasia ha sido de las modalidades más utilizadas. Penman (1969) planteó un experimento en el que se valoraba la técnica de ejecución de una combinación de acrobacias. Mediante la implantación de una fase de intervención y un posttest, comparó dos grupos, cuya diferencia residía en el añadido de la repetición en vídeo de su propia ejecución a velocidad real una vez finalizada la parte práctica. Durante 12 semanas realizaron 24 periodos de instrucción de aproximadamente 35 min cada uno, llevando a cabo el posttest el último día de entrenamiento. Los resultados obtenidos no mostraron diferencias significativas entre los grupos. Siendo llamativo este hecho, ya que el grupo experimental realizó mucha menos práctica física, a raíz de la observación del vídeo, que el grupo control. Más adelante, Baudry, Leroy y Chollet (2006) también plantearon un estudio utilizando una

habilidad motora de gimnasia. Confrontaron un grupo experimental, el cual recibió *feedback* visual en vídeo a velocidad real mostrando la ejecución de un experto y su propia ejecución junto a *feedback* verbal, con un grupo control, que no recibió ningún tipo de soporte que pudiera interferir en el aprendizaje de la habilidad del círculo de doble pierna en potro. 16 gimnastas de 14 años y una experiencia de seis o más años de práctica formaron parte de la investigación, la cual planteó un diseño con pretest, un postest y un test de retención. Al contrario del estudio anterior, la fase de adquisición tuvo una duración solo de una semana. Durante el transcurso de esta, los sujetos realizaron 5 sesiones de entrenamiento (1 por día) con 10 series de 6 repeticiones de la habilidad (60 en total) en las que se les pidió centrarse en la alineación del cuerpo en cada una de las fases que componen el movimiento. El *feedback* visual en vídeo suministrado al grupo experimental fue dado siempre después de las secuencias 1, 3, 5, 7 y 9; realizando en las series restantes entrenamiento tradicional mediante práctica física. Los resultados obtenidos refuerzan las percepciones indicadas anteriormente, debido a que hubo diferencias significativas en la variable dependiente entre el grupo experimental y el grupo control en el postest. Además, el test de retención reveló mejores resultados en gran parte de la ejecución del movimiento diana respecto al pretest, reforzando las ventajas obtenidas en el aprendizaje motor mediante el uso de *feedback* visual en vídeo a velocidad real. No obstante, estas mejoras fueron percibidas en las fases del movimiento más simples, poniendo de esta manera en entredicho su capacidad de alteración positiva en secuencias de movimiento más complejas y/o ante sujetos incapaces de realizarlas. Boyer, Miltenberger, Batsche y Fogel (2009) diferenciaron su experimento de los anteriores al seleccionar 4 gimnastas jóvenes (de entre 7 y 10 años) y aplicar un entrenamiento de 30 min utilizando *feedback* visual en vídeo a

velocidad real, combinando la observación de un experto y el automodelaje sin *feedback* verbal para el aprendizaje motor de tres habilidades durante un periodo de tiempo prolongado. Cada una de estas habilidades motoras se realizaba tres veces durante el tiempo de práctica. El sujeto ejecutaba la primera repetición del movimiento, recibiendo las consiguientes correcciones de manera verbal. Después de esta, se observaba mediante *feedback* visual en vídeo a velocidad real junto a la ejecución de un modelo experto, el cual señalaba los parámetros más importantes para el devenir positivo de la habilidad motora, sin ningún tipo de aportación más. Seguidamente ejecutaba las dos repeticiones restantes con el sistema de entrenamiento habitual a través de práctica física. Los resultados obtenidos de la evaluación de la ejecución de cada una de las tres habilidades, comparando su ejecución inicial en relación con su destreza final, corroboraron la eficacia del sistema utilizado sin *feedback* verbal durante el visionado de la ejecución. Paralelamente destacaron la aceptación positiva del grupo experimental, así como de los entrenadores.

La natación ha sido otra de las modalidades deportivas en las que más investigaciones se han realizado con el fin de verificar cómo influye la implementación del *feedback* visual en vídeo a velocidad real en el aprendizaje de las habilidades motoras que la constituyen. Bunker, Shearer y Hall (1976) diseñaron un estudio con pretest y posttest que quiso comparar cómo evolucionaba la ejecución de la patada en el estilo libre en base a la edad del sujeto, su nivel y el tipo de *feedback* suministrado. Para hacerlo, de una muestra de 36 sujetos principiantes, crearon dos grupos de 18 personas de edades diferentes. Uno comprendido entre 4.5 a 6.4 años y otro de 6.5 a 8.5. Cada uno de estos se subdividió en dos, y a cada subdivisión se le aplicó un

tipo de retroalimentación. Esta podía ser mediante *feedback* visual en vídeo a velocidad real, más *feedback* verbal después de la ejecución, o solamente verbal, siguiendo una metodología tradicional de entrenamiento mediante práctica física. El experimento se prolongó durante cuatro semanas, en donde se realizaron un total de 15 sesiones de 60 min de duración. El test final reveló mejores resultados en los dos grupos que habían recibido *feedback* visual en vídeo a velocidad real, siendo significativa la diferencia en el grupo de mayor edad. Este hecho puso de manifiesto la importancia relativa que adquiere la edad y/o la experiencia en la asimilación del *feedback* visual en vídeo a velocidad real. También en natación encontramos los estudios presentados por Hazen, Johnstone, Martin y Srikameswaran (1990). Estos autores plantearon verificar qué efectos producía en el aprendizaje motor la suma del moldeado visual por observación de un experto más *feedback* verbal junto al automodelado reforzado verbalmente. Para ello realizaron dos experimentos en los cuales utilizaron una muestra de 7 sujetos en el primero y de 6 en el segundo, de edades comprendidas entre 8 y 12 años. La primera investigación se centró en la ejecución del viraje en la modalidad de estilo libre y en la de espalda. Después de cada repetición, los 3 sujetos pertenecientes al grupo experimental recibían el *pack* de *feedback* mencionado, mientras que el grupo control siguió el procedimiento habitual, dando como resultado una mejora sustancial de la ejecución del primero en comparación con el segundo. La segunda investigación continuó con un diseño parecido, no obstante, se focalizó en la realización de la habilidad motora de la brazada en el estilo libre. Los investigadores aplicaron dos intervenciones diferentes. En la primera, los 6 sujetos participantes visualizaron un vídeo explicativo de la habilidad. Mientras que, en la segunda, ya se diferenció entre grupos, usándose el *feedback* visual en vídeo a velocidad real solo en 3 sujetos.

Posteriormente, llevaron a cabo un test de retención. Los resultados fueron nuevamente positivos para el *pack* de *feedback* visual en vídeo a velocidad real aplicado. El vídeo inicial no tuvo ningún impacto, en cambio el grupo que recibió el *feedback* visual en vídeo a velocidad real mostró mejoras significativas. Además, 2 de los 3 sujetos mantuvieron su destreza durante el test de retención. Unos años más tarde, Starek y McCullagh (1999) reforzaron la utilización del *feedback* visual en vídeo a velocidad real por automodelado en comparación con el *feedback* por pares también a través de vídeo para el aprendizaje de la técnica de natación. Obtuvieron resultados positivos en una muestra totalmente opuesta a las vistas hasta el momento, ya que los 10 sujetos participantes en su investigación tenían edades comprendidas entre 20 y 53 años y todos ellos eran principiantes. La intervención tuvo una duración de 5 sesiones. En la primera de ellas, se testeó a la muestra en base a 64 habilidades motoras, clasificadas según su complejidad, suministrando solo *feedback* verbal. En la segunda, todos los sujetos recibieron *feedback* visual en vídeo a velocidad real propio antes de iniciar el entrenamiento. En este, se mostraban cuatro habilidades bien realizadas y cuatro habilidades mal realizadas durante 3 min. Posteriormente, de las 64 habilidades motoras iniciales, practicaron las 25 peores (este procedimiento se mantuvo el resto de las sesiones). La dinámica de la tercera y la cuarta sesión siempre se iniciaba con el *feedback* visual en vídeo a velocidad real. El grupo de automodelaje observaba sus mejores ejecuciones del día anterior, mientras que el otro grupo visualizaba un modelo de su mismo nivel ejecutando las mismas habilidades. En la última sesión, todos los sujetos realizaron la misma actividad, centrada en reforzar individualmente las habilidades motoras de menor destreza. Los resultados obtenidos mediante la valoración de las distintas habilidades mostraron un incremento sustancial de mejora del grupo que vivenció el *feedback*

visual en vídeo a velocidad real por automodelaje en relación con el *feedback* visual en vídeo a velocidad real por pares, siendo significativo el cambio producido entre la tercera sesión y la cuarta. Por su parte, Clark y Ste-Marie (2007) plantearon una investigación para verificar la importancia del contenido del *feedback* observado. Su estudio, que contó con 33 sujetos de una edad media de 8.3 años, utilizó como tarea diana la realización de un largo de 10 m continuado en estilo libre. Repartieron la muestra en un grupo control y en dos de investigación, subdivididos estos en uno que utilizó la técnica del automodelado y otro la de autoobservación. La diferencia entre ambas fue el tipo de vídeo que observaban. Mientras que el primero visualizaba su mejor ejecución, el segundo grupo veía su nivel actual de pericia, fuese esta más o menos correcta. Durante ocho días se realizaron las tres fases del diseño experimental. Después del test inicial, durante la fase de adquisición, se llevaron a cabo 6 sesiones de 30 min de duración. Antes de iniciar cada una de ellas se visualizaban cuatro veces los vídeos seleccionados, los cuales tenían una duración de 15 s. Posteriormente, en la práctica física todos los sujetos recibían *feedback* verbal de carácter individual. Al finalizar cada una de las clases, cada miembro de la muestra tenía que nadar una distancia de 10 m, la cual era grabada y utilizada para preparar el *feedback* visual en vídeo a velocidad real del entrenamiento siguiente y rellenar su escala de autosatisfacción. El test de retención, realizado 24 h después de la última sesión y compuesto por la resolución de tres pruebas diferentes enfocadas a verificar su nivel de natación, su eficacia y su motivación, indicó que el grupo de automodelado obtuvo mejoras significativas en comparación al resto de grupos. Al mismo tiempo, su eficacia creció sesión a sesión, siendo el grupo más motivado y con mayor satisfacción final.

Otra modalidad deportiva que ha sido utilizada con bastante asiduidad para verificar las aportaciones del vídeo en el proceso de enseñanza-aprendizaje es el tenis. Rikli y Smith (1980) llevaron a cabo un estudio con 96 sujetos divididos en dos grupos iguales, separados entre sí por su nivel de maestría. A través de la habilidad motora del servicio, de la cual observaron cinco elementos, establecieron tres grupos de investigación separados por el tipo de *feedback* visual en vídeo a velocidad real que se les suministraba. Los resultados mostraron mejoras significativas para todas las muestras investigadas en el patrón de movimiento del brazo, exceptuado la acción de piernas en el grupo de menor nivel. Más relevantes, sin embargo, fueron las conclusiones obtenidas por Emmen, Wesseling, Bootsma, Whiting y Van Wieringen (1985). Estos autores diseñaron un estudio en el que se comparaba la eficacia de cinco maneras distintas de entrenar la habilidad del servicio en tenis. Estas alternaban entrenamiento a través de práctica física más la posibilidad de *feedback* visual en vídeo a velocidad real y fueron llevadas a cabo durante un periodo de tiempo de práctica muy corto. A pesar de esto, concluyeron que todos los métodos obtenían mejoras significativas, siendo más relevantes las que utilizaban *feedback* visual en vídeo a velocidad real, indistintamente si este era a través del automodelado o aportado mediante un modelo experto. Unos años después, Van Wieringen, Emmen, Bootsma, Hoogesteger y Whiting (1989) plantearon un estudio con 66 sujetos experimentados de una edad media de 26.9 años, en el que quisieron comparar qué tipo de *feedback* visual en vídeo a velocidad real era más efectivo para el aprendizaje motor, si el que se basaba en el visionado de un modelo experto o el que utilizaba la técnica del automodelado. Para ello, crearon tres grupos. Un primer grupo que realizaba 30 min de entrenamiento de práctica física, más 10 min de *feedback* visual en vídeo a velocidad real, viendo a un modelo

experto ejecutando la habilidad motora del servicio, un segundo que seguía la misma estructura, modificando el tipo de *feedback*, que en este caso era del propio sujeto ejecutando la habilidad mencionada, y un tercer grupo control. Exceptuando este último, el cual no recibió ningún entrenamiento, el resto llevaron a cabo 10 sesiones usando el planteamiento mencionado, distribuidas igualitariamente durante cinco semanas. Comparando los resultados obtenidos en el posttest respecto al pretest en base al *Avery Richardson Tennis Service Test* (ARTST), los autores reflejaron mejoras significativas en los dos grupos de investigación. No obstante, no observaron diferencias significativas entre métodos. Más adelante, Hebert y Landin (1994) añadieron, a todo lo especificado hasta el momento, la diferencia existente entre la utilización del *feedback* verbal y la del *feedback* visual en vídeo. Con tal fin, subdividieron una muestra de 48 sujetos de 20.92 años en cuatro grupos diferentes para optimizar la habilidad motora de la volea en tenis con la extremidad no dominante. El primero de ellos recibió *feedback* verbal; el segundo, *feedback* visual en vídeo a velocidad real de sujetos con las mismas capacidades, realizando la habilidad con comentarios adjuntados; el tercero combinó las dos retroalimentaciones anteriores, y el cuarto fue el grupo control. Todos los grupos investigados obtuvieron mejoras significativas en relación con la precisión del tiro y su trayectoria; no obstante, los mejores resultados fueron para el grupo que alternó el *feedback* visual en vídeo a velocidad real y el *feedback* verbal. Cuatro años más tarde, Atienza, Balaguer y García-Merita (1998) investigaron los efectos del *feedback* visual en vídeo a velocidad real y de las imágenes guía junto a la práctica física. Para ello, subdividieron en tres grupos a 12 participantes de edades comprendidas entre 9 y 12 años. El primer grupo realizó solo práctica física; el segundo, práctica física más *feedback* visual en vídeo a velocidad real, el cual incluía la combinación de

vídeo de modelos expertos, por pares, múltiples y de adaptación, es decir, que mostraban la técnica de ajuste de los estudiantes exitosos, y el tercero, práctica física, más el soporte de imágenes objetivo junto al *feedback* visual en vídeo a velocidad real. Comparando el pretest con el posttest en base al ARTST respecto a la habilidad del servicio, verificaron diferencias significativas entre el grupo que solo realizaba práctica física y el grupo de práctica física, *feedback* visual en vídeo a velocidad real e imágenes. Con ello se destaca la relevancia de combinar el vídeo con la práctica física.

Sin existir tantas investigaciones, otras modalidades deportivas también se han usado con el fin de obtener respuestas en base al objeto de estudio. Destacar por su singularidad la especialidad escogida por James (1971), enmarcada en la modalidad del salto de trampolín. Este, sobre 18 participantes de edades comprendidas entre 11 y 12 años, estableció un grupo que recibió *feedback* visual en vídeo a velocidad real y otro, *feedback* verbal. Después de 11 sesiones de 1 h de aplicación, realizadas 2 veces por semana, se verificó que el grupo que había utilizado *feedback* visual en vídeo a velocidad real obtenía mejores marcas en la rutina de salto objetivo en el posttest, sin que estas diferencias fueran significativas. Otro deporte en el que los estudios son escasos es el baloncesto, siendo el más relevante el de Hall y Erffmeyer (1983). Estos autores utilizaron 10 sujetos expertos para llevar a cabo su estudio. A través de la habilidad motora del tiro libre, compararon un grupo con *feedback* visual en vídeo a velocidad real mediante un modelo experto y otro sin. Durante el pretest, establecieron la capacidad inicial de cada participante valorando el acierto obtenido en una sucesión de 20 lanzamientos repetida durante cinco días. Posteriormente, se les pidió que, en el transcurso de las semanas en que se

Llevara a cabo el estudio, no realizaran práctica física de la habilidad del lanzamiento. A lo largo de la primera de estas, los dos grupos recibieron 30 min diarios de entrenamiento de visualización mental de la habilidad motora. Por el contrario, en la segunda semana un grupo continuó con el mismo sistema, reduciendo el tiempo a 20 min, y el otro grupo recibió *feedback* visual en vídeo a velocidad real junto al trabajo de visualización mental, también durante el mismo tiempo. En la tercera se siguió el mismo planteamiento, reduciendo exponencialmente la visualización del vídeo, con el fin de minimizar la dependencia hacia este, más la práctica física diaria de 20 lanzamientos a canasta. Los resultados cosechados mostraron una mejora significativa en el desempeño a favor del grupo con *feedback* visual en vídeo a velocidad real. De hecho, los dos sujetos que demostraron la mayor mejora llegaron a informar que fueron capaces de sentir el movimiento muscular en asociación con sus imágenes visuales. En años posteriores, también aparecieron algunos estudios enmarcados en el golf que pretendieron profundizar en la temática tratada. Guadagnoli, Holcomb y Davis (2002) realizaron un experimento en el que observaron las diferencias existentes entre un grupo que recibió *feedback* visual en vídeo a velocidad real, otro al que le suministraron *feedback* verbal y un grupo control que no recibió ningún tipo de *feedback*. 30 golfistas de edades comprendidas entre 29 y 50 años llevaron a cabo un pretest, una fase de adquisición de cuatro sesiones de 90 min en las que se combinaba el tipo de *feedback* con la práctica física real, un posttest justo al finalizar la fase anterior y un test de retención dos semanas después. Atendiendo a las variables dependientes de la habilidad motora objetivo, golpear 15 bolas de golf con un hierro 7, valorando la distancia y la precisión, los resultados que se obtuvieron en el test inicial mostraron que todos los grupos partían de marcas similares. Sin embargo, en el primer posttest los dos grupos experimentales

obtuvieron peores marcas que el grupo control, para posteriormente, en el segundo postest, variar esta tendencia, siendo el grupo con *feedback* visual en vídeo a velocidad real el mejor valorado, a pesar de haber sido el que menos práctica física real realizó de los tres grupos. Bertram, Marteniuk y Guadagnoli (2007) trazaron una investigación parecida, añadiendo el nivel de destreza del golfista y reduciendo el tiempo de práctica física. Reunieron 24 sujetos noveles y 24 sujetos avanzados, que posteriormente repartieron en tres grupos experimentales diferentes entre sí, solamente en base al *feedback* recibido durante la práctica física, establecida para todos igual. Esta consistía en 20 min de clase teórica mientras se llevaban a cabo 30 golpes con un hierro 6 para, seguidamente, observar los datos obtenidos del *swing* de golf (velocidad, ángulo y tiempo de impacto). El grupo con *feedback* verbal complementó la información mencionada con observaciones de un profesor profesional. El grupo que recibió *feedback* visual en vídeo a velocidad real sumó la observación de los golpes ejecutados después del impacto 5, 10, 15, 20 y 25 (tres veces a velocidad real, tres a cámara lenta y tres más a velocidad real nuevamente) a lo mencionado por el grupo anterior. Por el contrario, el grupo control no recibió ningún tipo de ayuda. Tanto el test inicial como la fase de adquisición y el postest se llevaron a cabo el mismo día, obteniendo unos resultados, después de ejecutar los 12 golpes pertenecientes al test final y comparándolos con los iniciales, que revelaron que los aprendices asimilaban mejor el *feedback* verbal que el *feedback* visual en vídeo a velocidad real y que a los golfistas expertos les pasaba lo contrario. Existe también una investigación, extraída de una tesis doctoral, centralizada en el voleibol. Rhoads (2012) pretendió observar las diferencias existentes en la capacidad de los participantes para aprender con *feedback* visual en vídeo a velocidad real versus *feedback* verbal. Partió de la hipótesis de que el primero sería más eficaz

que el segundo y que, además, los participantes con mayor experiencia de juego se beneficiarían más de él a la hora de ejecutar la habilidad motora del servicio, al poseer una idea más clara de cómo debe ser. Paralelamente, también supuso que, dependiendo de si la preferencia de aprendizaje del sujeto era visual o auditiva, el tipo de *feedback* correspondiente tendría mayor efecto. Con el fin de poder comprobarlo, planteó un estudio con 32 sujetos femeninos experimentados de edades comprendidas entre 12 y 17 años, de los cuales 26 completaron todo el protocolo. De las 9 sesiones establecidas, en la primera se realizó el pretest; en la quinta, un test final del primer tipo de *feedback* vivenciado, y en la última, el segundo test final, correspondiente al tipo de *feedback* restante. Cada prueba consistió en la ejecución de 10 servicios en los que se valoraba la precisión y la ejecución. Las 6 sesiones restantes, correspondientes a la fase de adquisición, se subdividieron en 2 bloques de 3, uno en el que se aplicaba *feedback* verbal y otro en el que se utilizaba *feedback* visual en vídeo a velocidad real junto a las indicaciones del entrenador. Todos los participantes vivenciaron las dos modalidades, ejecutando 45 repeticiones de la habilidad por sesión, y recibiendo el *feedback* correspondiente cada 5 acciones. Los resultados obtenidos por el autor no revelaron diferencias significativas entre las dos modalidades empleadas en la investigación, independientemente de la experiencia del sujeto en el juego o del tipo de aprendizaje preferencial. En 2014, Sakadjian, Panchuk y Pearce (2014) probaron los beneficios asociados a la práctica física, más *feedback* visual en vídeo a velocidad real en la habilidad motora del *power clean*. 15 sujetos sin experiencia previa en el movimiento asistieron a 12 sesiones de entrenamiento durante un periodo de cuatro semanas. Divididos en dos grupos, el primero empleaba el método tradicional de entrenamiento, basado en la práctica física más las instrucciones del entrenador, y el

segundo, igual, añadiendo el *feedback* visual en vídeo a velocidad real de la ejecución realizado por un modelo experto antes de cada sesión. Los participantes realizaban 3 series de 5 repeticiones del ejercicio en cada práctica. Se recogieron datos cinemáticos y cinéticos de la prueba. Estos mostraron, después de las evaluaciones realizadas en el pretest, al final de las semanas dos y tres y después de la fase de adquisición, mejoras más rápidas (3%) en la técnica del movimiento en el aprendizaje motor con *feedback* visual en vídeo a velocidad real y mejoras significativas en el rendimiento.

Horn, Williams y Scott (2002) es el único estudio encontrado que utiliza el *feedback* visual en vídeo a velocidad real en el fútbol, por ese motivo adquiere una atención especial. En su estudio, realizado con 21 participantes aprendices femeninos de 22.2 años, se compararon los efectos producidos por tres *feedback* distintos sobre el aprendizaje motor de la habilidad del golpeo al balón sobrepasando una barrera y dirigiéndolo hacia un objetivo especificado. El primer grupo recibió *feedback* visual en vídeo a velocidad real mediante un modelo experto, el segundo en cambio obtuvo *feedback* visual en vídeo a velocidad real a través de puntos de luz, y el tercero fue utilizado como grupo control. Las variables dependientes manejadas fueron el resultado conseguido en base a la distancia respecto al *target*, valoraciones biomecánicas de las distintas articulaciones implicadas en la habilidad motora y el registro del movimiento ocular. Se realizó un pretest y un postest, intercalando tres periodos de adquisición y observación del modelo, más una prueba de retención dos días después. No se encontraron diferencias significativas en el aprendizaje entre los tres modelos planteados. Tampoco aparecieron entre el grupo con *feedback* visual en vídeo a velocidad real y el grupo que vivenció el *feedback* con

puntos de luz. Sin embargo, se comprobó que los participantes que observaron el modelo de vídeo desarrollaron una marcada reducción en la variabilidad de la fase temporal de la prueba previa a la prueba de retención, cosa que no sucedió en el resto de los grupos.

### **2.4.2. Efectos del *feedback* visual en vídeo a cámara lenta**

El vídeo a cámara lenta ha proporcionado la posibilidad de mejorar la observación de la naturaleza de los movimientos, concretando aún más los datos sobre los momentos cruciales de la habilidad motora. Lejos de ser una idea nueva, vale la pena señalar que ya en 1936 Berstein había sugerido el uso de estos procedimientos para analizar la técnica de carrera (Gazienko y Fejgenberg, 2000). Desde la década de 1970, cuando los primeros analizadores electrónicos de movimiento estuvieron disponibles comercialmente, la asequibilidad, las capacidades y las características de las cámaras de vídeo de alta velocidad han mejorado drásticamente (Balch, 1999). Es destacable por eso que, hasta los inicios del año 2005, solo los sofisticados laboratorios biomecánicos podían permitírselas.

Shum y Komura (2005) especifican que la velocidad de muestreo determina la medida en que una cámara de vídeo puede recopilar información visual precisa sobre movimientos corporales y objetos. Una cámara de vídeo de alta velocidad es una cámara de vídeo capaz de grabar a un mayor número de fps. Su alta frecuencia de muestreo, de 100 a 1000 fps, la diferencia de las cámaras de vídeo comerciales, que graban de 25 a 30 fps. Hace unos años el coste y la disponibilidad de este tipo de cámaras las ponían fuera del alcance de los atletas y

practicantes; no obstante, en la actualidad, la situación ha cambiado y la revolución tecnológica ha traído consigo cámaras de vídeo de alta velocidad a bajo precio. Importantes fabricantes como Casio©, Sony©, Nikon©, JVC© y GoPro© han incorporado componentes electrónicos para convertir las cámaras de vídeo compactas convencionales en grabadoras de *high-speed*. Como consecuencia, su uso se ha extendido a través del mundo del deporte en diferentes aplicaciones. Incluso más recientemente, la aparición de los teléfonos inteligentes y la tecnología de vídeo correspondiente han puesto cámaras de vídeo de alta velocidad en el bolsillo de un número creciente de personas. De hecho, los nuevos teléfonos inteligentes de Apple©, HTC©, Samsung© o Huawei© incluyen cámaras de vídeo de alta velocidad con una frecuencia de muestreo de hasta 240 fps.

Los profesionales del deporte y los entrenadores aficionados utilizan cada vez más la tecnología de vídeo de alta velocidad que proporciona imágenes a cámara lenta para mejorar sus experiencias de aprendizaje y formación. Estas están en desarrollo constante. Nuevas aplicaciones prácticas para monitorear y analizar los movimientos, no solo en el laboratorio, sino también en el terreno, dan la oportunidad de obtener información objetiva a poco coste. Esto, unido al hecho de que la cámara de vídeo de alta velocidad forme parte del teléfono móvil, constituye una gran diferencia con respecto a los usos pasados de la tecnología de vídeo de alta velocidad. La revolución de su uso en los deportes es evidente y se plasma en sus diferentes aplicaciones, de las cuales destacan:

- La evaluación de la capacidad de salto: Los tiempos de contacto en vuelo y en tierra se han utilizado durante cuatro décadas como indicadores para evaluar la capacidad de

salto y la producción de fuerza/potencia de los extensores de rodilla (Bosco, 1995). Los métodos de sincronización que utilizan cronógrafos precisos, como alfombras de contacto o luces infrarrojas conectadas a microcontroladores, han apoyado soluciones como Muscledlab©, Ergojump®, Axon Jump®, Smart Jump de Smartspeed™ y Just Jump de Power Systems™. Sin embargo, en la actualidad, el vídeo de alta velocidad ha estado reemplazando los métodos basados en la plataforma de contacto por una herramienta más accesible y utilizable. Por ejemplo, una aplicación llamada MyJump ha sido desarrollada para aprovechar las posibilidades que ofrece la nueva generación de cámaras de vídeo de alta velocidad de los teléfonos inteligentes (Balsalobre-Fernández, Glaister y Lockey, 2015). Determinando los momentos en que los pies despegan y aterrizan, la aplicación calcula el tiempo de vuelo y la altura del salto usando la ecuación descrita en la literatura (Bosco, Luhtanen y Komi, 1983). Se encontró que el método utilizado por la aplicación era válido y fiable frente a un método basado en la plataforma de fuerza (Balsalobre-Fernández et al., 2015). Buscà et al. (2015) utilizaron una cámara de vídeo de alta velocidad Casio® ZR1000 HS EXILIM para el mismo objetivo: medir el tiempo de vuelo, en este caso de jugadores de voleibol playa sobre arena. Sus resultados mostraron una validez aceptable, obteniendo datos fiables, incluso teniendo en cuenta el hecho de que los momentos de contacto se llevaron a cabo en la arena. Utilizaron el *software* de análisis Kinovea para calcular el tiempo de vuelo y dibujar los puntos de criterio. Recientemente, destaca otra aplicación de teléfono móvil llamada JumpPower™, creada para proporcionar datos de altura, fuerza y potencia en

saltos. Esta aplicación funciona mediante el seguimiento automático de la trayectoria de la cara a lo largo de las fases de impulso y vuelo.

- La evaluación de la capacidad de *sprint*: Aplicaciones recientes de cámaras de vídeo de alta velocidad permiten a los usuarios medir el tiempo, la potencia, la velocidad, la aceleración y la eficacia mecánica de los *sprints* (Samozino et al., 2016). El trabajo de Samozino et al. (2016) o el de Morin y Sève (2011) son un ejemplo de ello. Basándose en la aplicación Iphone MySprint™, la cual utiliza la cámara de vídeo de alta velocidad de un Iphone 5c (o modelos posteriores) para determinar los tiempos de carrera cada 10 m en un *sprint* en línea recta, y una cámara de vídeo de alta velocidad Casio® HS F1 EXILIM, que conjuntamente permiten reproducir fotograma a fotograma la habilidad motora, son capaces de determinar el momento exacto en que el atleta cruza los marcadores colocados para calcular los parámetros nombrados. Además de esta aplicación, otras aplicaciones como SpeedClock™, Sprint Timer™ y Sport Watch™ pueden utilizarse para detectar el movimiento del atleta a una distancia determinada e informar sobre la velocidad y la aceleración.
- La evaluación de la agilidad y los cambios de dirección: Los intervalos de tiempo precisos involucrados en pruebas de agilidad tales como la prueba T (Semenick, 1990), la prueba de Illinois o la prueba RAT (Sheppard, Young, Doyle, Sheppard y Newton, 2006) pueden ser grabados por una cámara de vídeo de alta velocidad y analizados posteriormente. Estas pruebas, u otra creada recientemente para el voleibol playa (Buscà et al., 2015), permiten una interpretación de la capacidad de acelerar y frenar y de la eficacia de los cambios de dirección, proporcionando información más precisa a los

entrenadores sobre la agilidad inherente en el atleta. En términos prácticos, una cámara de vídeo de alta velocidad de 240 fps es suficiente para grabar el circuito. No obstante, es necesario establecer criterios precisos sobre el inicio y el final de los tramos de la prueba (Padullés, 2011). El pecho o las caderas son lugares apropiados para colocar los marcadores para el análisis posterior con Kinovea o *softwares* similares.

- La evaluación del análisis del movimiento y la técnica: Determinando la tasa de muestreo de las grabaciones, muchos programas de *software* permiten un análisis preciso de los tiempos, ángulos y distancias cubiertos por un objeto en un plano específico. La simplicidad con la que programas como Kinovea implementan tales análisis constituye una herramienta valiosa para los entrenadores y profesores de educación física. Utilizando herramientas de cronógrafo, los practicantes pueden determinar los tiempos de contacto con el suelo, el tiempo que pasan en las diferentes fases del movimiento, el tiempo de impacto o los tiempos de vuelo de las zancadas en un *sprint*. Además, gracias a varias aplicaciones, el análisis cinemático simple proporciona información sobre la posición, la velocidad y la aceleración de los miembros en un movimiento dado (previa calibración espacial). Kinovea, por ejemplo, también es capaz de rastrear trayectorias de un punto cromáticamente contrastado en el espacio. Por lo tanto, los entrenadores pueden medir y controlar la ejecución de los atletas en acciones en barras o la fuerza de entrenamiento de los movimientos ejecutados en máquinas con diferentes cargas. Esto constituye un procedimiento interesante y accesible para mejorar el control de los procesos de entrenamiento de potencia muscular usando cámaras de vídeo de alta velocidad. Además, este tipo de grabaciones de vídeo

permiten a los profesionales controlar la ejecución de la técnica de manera más concisa mediante las distintas herramientas ofrecidas por los *softwares* de análisis.

- La evaluación de la velocidad de lanzamiento: El vídeo de alta velocidad de muestreo también constituye una herramienta válida para las mediciones de velocidad de lanzamientos en el deporte. Diferentes fabricantes han utilizado la tecnología de radar para este propósito, pero esto puede ser inaccesible para los practicantes de a pie (Buscà, Moras, Peña y Rodríguez-Jiménez, 2012; Moras et al., 2008). Sin embargo, las cámaras de vídeo de alta velocidad junto con el *software* apropiado son una solución accesible. Utilizando una distancia conocida y una frecuencia de muestreo de vídeo válida, un recuento preciso de los fps puede proporcionar datos de velocidad válidos y confiables sobre proyectiles que asumen trayectorias lineales (Shum y Komura, 2005). Recientemente, la aplicación de teléfono móvil Speedclock™ se ha creado para seguir los movimientos de la pelota e informar de la velocidad del proyectil, con resultados tan precisos como los de una pistola de radar.

La literatura existente sobre los efectos del *feedback* visual a cámara lenta propia del *feedback* visual en vídeo de alta velocidad es escasa. En el apartado anterior hemos revisado los estudios realizados atendiendo a la modalidad deportiva; sin embargo, en el actual punto esto no se ha podido hacer por el motivo mencionado. De los primeros estudios que lo han querido verificar, destaca el de Barclay, Cutting y Kozlowski (1978). Estos autores, sin centrarse exactamente en cómo afectaba el *feedback* visual en vídeo a cámara lenta en el aprendizaje, observaron que el visionado de este tipo de vídeo dificultaba el reconocimiento de

las acciones, centrado en su caso en la identificación del sexo del caminante que aparecía en la retransmisión. Sin ser relevante, induce a reflexionar sobre las alteraciones que provoca este estímulo. Más adelante, Williams (1989) encontró resultados parecidos. En su caso, 60 sujetos de 12 años participaron en el experimento. Divididos en tres grupos de 20, observaron la demostración hecha por un adulto de un lanzamiento realizado con el brazo simulando el movimiento típico al lanzar un dardo a una diana. El vídeo mostraba el movimiento relativo de los puntos de luz que representaban la muñeca, el codo y el hombro del modelo desde un punto de vista frontoparietal. El orden de los movimientos en la habilidad motora, la flexión seguida por la extensión del hombro y el codo fueron siempre los mismos, mientras que la alteración de la velocidad de visionado del vídeo fue lenta (velocidad media angular de la mano del modelo de aproximadamente 0.92 rad/s), media (1.45 rad/s) y rápida (3.5 rad/s), dando todas una clara impresión de la habilidad. El estudio comprendió dos partes. En la primera se pidió a los participantes que identificaran la habilidad motora que estaban visionando. Cada grupo la observó cuatro veces y la velocidad fue distinta para cada uno de ellos. El movimiento fue identificado por el 88% de los sujetos que visionaron el modo rápido, por el 81% que observaron el modo medio y por el 65% del modo lento. Así, estos resultados refuerzan los descubrimientos expuestos anteriormente. Además, de los sujetos que identificaron el movimiento, se escogieron tres aleatoriamente que realizaron la segunda parte. En esta, observaron otros 30 ensayos (3 x 10 bloques) en los que la velocidad de la demostración fue aleatoriamente variada ensayo por ensayo en los tres niveles previamente indicados. Paralelamente, se les instruyó para reproducir la habilidad motora de la forma más precisa posible, observando cuidadosamente el movimiento del modelo y produciendo el movimiento

con su propio brazo después de cada visión. Sus movimientos fueron grabados a través de una cámara de vídeo colocada perpendicularmente al brazo que usaban. El análisis del movimiento de los sujetos durante la acción de lanzamiento mostró que las características secuenciales, espaciales y temporales de la demostración fueron modeladas con bastante precisión. El desplazamiento direccional del brazo siempre fue correcto. No obstante, se detectó que la extensión del brazo siempre fue mayor que la del modelo, exagerándose en la visión más rápida. Por el contrario, el visionado más lento favoreció la modelación del movimiento, pero modificó el ritmo de ejecución, siendo el más distante a la realidad. A diferencia del estudio anterior, Scully y Carnegie (1998) utilizaron la disciplina del ballet para comparar los efectos del *feedback* visual en vídeo a distintas velocidades, presentando a los participantes un movimiento completo sin utilizar puntos de luz. 24 sujetos fueron divididos aleatoriamente en tres grupos, distinguiéndose el que recibió *feedback* visual en vídeo a velocidad real, *feedback* visual en vídeo a cámara lenta y el que visionó imágenes fijas. El modelo observado fue una bailarina de ballet experta. Eligieron un paso de baile bidimensional, ya que cumplía los requisitos de una habilidad motora que proporcionaba a los observadores novatos un cierto grado de dificultad para replicar el movimiento al instante. La secuencia de movimiento involucró el movimiento lateral de todo el cuerpo de izquierda a derecha con una fase aerotransportada caracterizada por la extensión completa de las piernas en forma de V invertida. Esta incluía una postura inicial y final específica y tenía una duración aproximada de 5 s. Cada sujeto observó la demostración tres veces. Se les preguntó si sabían qué se pedía que realizaran y si necesitaban volver a ver la demostración. Luego, el observador tuvo 10 ensayos de adquisición, seguidos de un periodo de descanso, y 10 ensayos finales que fueron registrados y analizados. Tras el análisis biomecánico

del movimiento, los autores concluyeron que los participantes que observaron el vídeo a cámara lenta fueron los que realizaron el movimiento más parecido al modelo experto. No obstante, también fueron los que se alejaron más del ritmo de ejecución correcto. Tres años más tarde, Al-Abood et al. (2001) plantearon otro experimento para clarificar el efecto del *feedback* visual en vídeo a cámara lenta. En este caso, el movimiento fue una acción de lanzamiento de dardos desconocida por la muestra que participó en la investigación. El objetivo de la tarea era anotar la mayor cantidad de puntos posible proyectando el dardo con el brazo dominante a una diana colocada en el suelo a 3 m de distancia. La diana estaba constituida por 10 círculos concéntricos, valorados cada uno de 1 a 10 puntos según su proximidad al centro. 10 participantes, divididos en dos grupos de 5 personas, observaron el movimiento de un modelo experto a velocidad real o a cámara lenta durante la fase de adquisición. Esta consistió en 100 lanzamientos, visionando la demostración antes y después de cada 10 ejecuciones, descansando cada 20 acciones y recibiendo *feedback* basado en el conocimiento del resultado después de cada intento. La sesión de retención se realizó un día después y consistió en 20 lanzamientos sin *feedback*. Los resultados volvieron a reforzar los hallazgos encontrados en otras investigaciones. El grupo que recibió *feedback* de vídeo a velocidad real se aproximó más a los movimientos temporales relativos y espaciales del modelo que los del *feedback* visual en vídeo a cámara lenta, obteniendo al mismo tiempo mejores resultados. Ya en 2016, Teeling (2016) defendió una tesis doctoral ante el Departamento de Kinesiología de la Universidad de Windsor titulada *The role of slow and real time video modelling in expert and novice soccer players*. Este documento, íntimamente relacionado con nuestra investigación, examinó las diferencias de aprendizaje motor existentes entre aprendices y expertos al visionar *feedback* visual en vídeo a cámara lenta

o *feedback* visual en vídeo a velocidad real de una habilidad motora en fútbol. 32 participantes, 16 jugadoras expertas y 16 jugadoras noveles fueron repartidas aleatoriamente a una de las dos modalidades de *feedback* visual en vídeo. Al iniciar el test, visionaron un modelo experto realizando la habilidad, que consistía en desplazar la pelota lateralmente utilizando la planta del pie para, posteriormente, cambiar la dirección de esta manejando la pierna contraria y enviar la pelota hacia un objetivo simulando un pase (Figura 2-7). Sin especificar ningún punto en el que focalizar la atención y solo con la premisa de utilizar el modelo experto como guía para realizar su ejecución, lo observaron 8 veces, teniendo una duración de 54 s el vídeo a cámara lenta y 27 s el vídeo a velocidad real, antes de iniciar la práctica física que estaba formada por las mismas repeticiones. Realizaron 6 bloques alternando el visionado y la práctica, dando un total de 48 repeticiones. Hay que destacar que el investigador, una vez explicado el procedimiento del estudio y mientras transcurrían las demostraciones de la habilidad a cámara lenta o a velocidad real del primer bloque y el último, también registró los datos referidos al movimiento ocular. Los resultados revelaron una disminución del diámetro de la pupila en los cuatro grupos experimentales, sin aportar diferencias significativas en la exploración del vídeo entre los sujetos noveles y los expertos en las dos modalidades de visionado. La ejecución del movimiento en las tres fases fue realizada antes y mejor por el grupo experto, diferenciándose la cualidad de la acción según la fase. Por ejemplo, el movimiento correspondiente a la fase 1 fue ejecutado inmediatamente por los más habilidosos en ambas modalidades de observación, no así por los noveles. Sin embargo, aun respetándose lo mencionado anteriormente, sí que existió diferencia en la ejecución según el visionado en la fase 2. En el de los expertos, los que vieron el vídeo a velocidad real realizaron mejor la acción que los que lo vieron a cámara lenta.

No pasó lo mismo con los noveles, donde los resultados se invirtieron. Todos los grupos mejoraron la fase 3 a medida que avanzaba el test; no obstante, el grupo novel que visionó el vídeo a cámara lenta empeoró antes de mejorar e igualarse con los demás. Según los resultados del estudio, la precisión de la habilidad motora respecto al objetivo sí que se ve afectada por el nivel del ejecutante y el visionado recibido. Los expertos a cámara lenta y a velocidad real, en general, golpearon al objetivo con más frecuencia que los novatos en ambas condiciones. Sin embargo, al comparar ambos grupos atendiendo al visionado, se comprobó que los noveles y los expertos a velocidad real mejoraron más que los noveles y los expertos a cámara lenta. Finalmente, cuando el autor evaluó la velocidad de ejecución de la acción, comprobó que, en la primera fase, ambos grupos mejoraron exponencialmente a medida que avanzaban los bloques, independientemente del tipo de visionado. Especificar que, por problemas de datos, solo contemplo al grupo experto. En la segunda tampoco encontró ninguna diferencia y reforzó los datos obtenidos al valorar el tiempo absoluto, ya que nuevamente no encontró nada significativo. De esta manera, la observación de un modelo experto a velocidad real, o a cámara lenta en su caso, condujo a mejoras comparables en el rendimiento de la tarea general.



**Figura 2-7. Habilidad motora de fútbol.** Teeling (2016) establece que la fase 1 corresponde al movimiento en que el modelo pisa la pelota para desplazarla lateralmente (1-4); la fase 2, a la acción que permite cambiar la dirección de la pelota y estabilizar el cuerpo (4-7); la fase 3, a la acción del pase hacia el objetivo (7-9).

El *feedback* visual en vídeo es una herramienta para aportar información cuantitativa y cualitativa de la habilidad motora al aprendiz. Permite aportar *feedback* de la cinemática del movimiento, utilizándose el vídeo de la habilidad como modelo de referencia (Liebermann et al., 2002). Describe la habilidad, proporcionando al aprendiz *feedback* detallado de la ejecución. Visualizándola, este identifica y diagnostica las causas de cualquier discrepancia entre el patrón de movimiento observado y el deseado, facilitando las instrucciones para tratar de erradicar dichas discrepancias en cualquier habilidad técnica (Hughes, 2004). En el fútbol,

la habilidad técnica más determinante es el chute (Lees, Asai, Andersen, Nunome y Sterzing, 2010). De todos los tipos de chutes existentes, la biomecánica ha descrito ampliamente el lanzamiento de penalti (Katis et al., 2013). En el capítulo siguiente, identificaremos la habilidad técnica como una habilidad motora compleja. Además, añadiremos la descripción biomecánica que narra la cinemática del chute de penalti, concretando los puntos clave para lograr un golpeo preciso y veloz.

---

## **CAPÍTULO 3. LA HABILIDAD TÉCNICA DEL CHUTE EN EL FÚTBOL**

Asimilar una habilidad motora conlleva un cambio duradero en su capacidad de ejecución y solo se puede conseguir mediante el entrenamiento (Shmuelof, Krakauer y Mazzoni, 2012). Implica la solución simultánea de dos aspectos: encontrar las constantes que hacen exitoso el movimiento y seleccionar un subconjunto de movimientos que son más fáciles de producir y controlar, pudiéndose llevar a cabo de forma más fiable (Todorov, Shadmehr y Bizzi, 1997). De naturaleza compleja, las habilidades técnicas configuran el conjunto de movimientos específicos que cada deporte tiene para desenvolverse de manera eficaz y eficiente (Riera, 1989; Solà, 2010). La biomecánica tiene como objetivo identificar y describir estas habilidades (Bartlett, 1999). Por su relevancia en el juego, pues permite marcar la mayoría de los goles que se consiguen durante un partido (Njororai, 2013; Yiannis, 2014), la habilidad técnica del chute es la habilidad motora más estudiada en el fútbol (Lees et al., 2010). Existen múltiples variantes de ejecución, dependiendo de la velocidad del balón, de su posición y de la intención buscada (Katis et al., 2013). El chute de penalti es la ejecución que permite obtener la máxima velocidad de golpeo con el empeine a una pelota detenida (Lees et al., 2010; Lees y Nolan, 1998). Asimismo, los mismos autores dicen que esta característica necesita ser combinada con la precisión. La habilidad técnica del chute completa comprende desde el momento en que el ejecutante se acerca al balón hasta el final del vuelo de la pelota. En la totalidad del trayecto, se identifican seis fases: a) el acercamiento; b) la pierna de soporte y la

pelvis; c) la pierna de chute; d) el tronco superior; e) la interacción pie-balón, y f) el vuelo del balón (Lees et al., 2010; Lees y Nolan, 1998). En el Capítulo 3 concretaremos cada una de estas fases del chute, nombrando las características biomecánicas más significativas para obtener el golpeo más veloz y preciso. Al mismo tiempo, detallaremos los rasgos que definen y diferencian la concepción de los términos “habilidad motriz básica” y “habilidad motriz específica”, especificaremos qué caracteriza a una habilidad motriz compleja, situando la habilidad técnica dentro del marco que le corresponde atendiendo a su peculiaridad.

### **3.1. Las habilidades motoras. Concepto, análisis y clasificación**

No existe una definición exacta del concepto “habilidad motora”, pues la envergadura de su significado dificulta la posibilidad de establecer una lo suficientemente precisa (Schmidt y Lee, 2011). Su casuística hace que su definición deba girar alrededor de tres elementos que interactúan de forma compleja en el aprendizaje motor: el contexto de aprendizaje, la propia habilidad motora y el aprendiz (Oña et al., 2007). Esto ocasiona que, en función de la interpretación de esta interacción, existan numerosas clasificaciones y definiciones del concepto.

### 3.1.1. En base al contexto de aprendizaje

La primera clasificación destacada es la que Knapp (1963) realiza en base a las condiciones del entorno. Esta autora sostiene que las habilidades motoras se ven afectadas por un gran número de estímulos internos y externos. El individuo los percibe y, según ella, selecciona los que tienen más sentido para él a la hora de interpretar una tarea concreta. Ella afirma, al mismo tiempo, que los requerimientos externos son determinantes en el aprendizaje motor. Esto, unido a la atención que da a la duración completa que tiene la actividad, dota de significado a la táctica y la estrategia. También considera que el medio puede ser estable o inestable. Este aspecto permite entender el rol que el medio desarrolla en la adquisición de las habilidades. Con todo esto, clasifica las habilidades motoras, en base al criterio de su posibilidad de automatización, en habituales y perceptivas. Las primeras, asociadas a un medio estable, se caracterizan por tener una secuencia de movimiento conocida y automatizable. Ejemplos claros serían el correr, nadar o remar. Las segundas, por su parte, están ligadas a un medio inestable, no poseen una secuencia conocida y en consecuencia necesitan de la participación de los procesos cognitivos. Este elemento engloba, a su parecer, todas las habilidades motoras incluidas en los juegos y los deportes. La clasificación presentada por Gentile (1972, 2000), al entender la ausencia o presencia de la variabilidad del entorno como uno de los aspectos que más condiciona la adquisición de la habilidad y el rendimiento, relaciona la dificultad de la tarea a este elemento. Este autor establece una categorización sostenida en las condiciones de regulación de la práctica física y en los cambios sucedidos sobre estas condiciones de una experiencia a otra. Las primeras abarcan todas las características del

ambiente que afectan al movimiento del sujeto para conseguir el objetivo, mientras que las segundas son características ambientales que pueden distraer al deportista, pero no perturban el movimiento. La habilidad motora será cerrada si el primer parámetro y el segundo son estables. Si por el contrario son móviles y es el contexto ambiental el que marca cuándo y cómo iniciar y ejecutar la habilidad, y no el sujeto, la habilidad motora es abierta. Esto deriva en una categorización de las habilidades que tiene en cuenta el contexto ambiental en el que se manifiestan. Estas son abiertas o cerradas y, en base a la presencia o no de variabilidad interensayo, surgen cuatro clases diferentes: a) tareas cerradas sin variabilidad interensayos (cerradas y estables); b) tareas cerradas con variabilidad interensayos (cerradas y variables); c) tareas abiertas sin variabilidad interensayos (abiertas y estables), y d) tareas abiertas con variabilidad interensayos (abiertas y variables). Si las condiciones de regulación son estables mientras se manifiesta la habilidad motora y no son propias del objeto, como la situación, el tamaño o la velocidad, no existe variabilidad interensayos. Si se modifica cualquier cosa entre ensayos, entonces sí. El autor puntualiza que las habilidades motoras se localizan a lo largo de un *continuum* en función de si van de completamente cerradas a completamente abiertas. La complejidad de la habilidad aumenta a medida que se recorre este *continuum*, dificultando su ejecución y aprendizaje. Según este planteamiento, la presencia de más o menos variabilidad regula la dificultad de aprendizaje motor en los dos tipos de tareas, ya que afecta en las demandas de los procesos atencionales, en la organización del movimiento y en cómo se representa el movimiento en la memoria. Por su parte, Singer (1986) presenta una taxonomía cercana a la de Knapp (1963), conceptualizada por la regulación temporal del movimiento, acogiendo al mismo tiempo ideas de Gentile (1972, 2000). Esta clasificación se codifica en base

al grado de control de la habilidad motora en función de la participación o no de agentes externos al entorno. Este autor distingue las tareas de regulación externa, caracterizadas por ser abiertas y perceptivas, con la participación de agentes externos cambiantes; las tareas de autorregulación, cerradas y habituales, en donde no participan agentes externos y la situación está completamente estandarizada, y las tareas mixtas, que combinan los elementos anteriores. Para el autor, los deportes de equipo son ejemplos claros de las primeras tareas; los ejercicios gimnásticos o de atletismo, de las segundas, y de las terceras, si hablamos de tareas abiertas y habituales, el esquí de fondo, y si son cerradas y perceptivas, el billar o el golf.

### **3.1.2. En base a la habilidad motora aprendida**

Fitts y Posner (1967) plantean otra manera distinta de categorizar las habilidades motoras. Ellos clasifican las habilidades perceptivo-motoras atendiendo al entorno físico, incorporando el criterio de movimiento y reposo. En base a esto, presentan tres niveles de dificultad creciente según la movilidad o no del sujeto y el objeto. En el primer nivel, el deportista está en reposo y el objeto es fijo. En el segundo, uno de los dos está en movimiento. Y en el tercero, los dos se mueven. La dificultad germina como efecto de la relación entre la regularidad y la variabilidad de los objetos y las personas en el entorno deportivo, dando parámetros de cantidad de incertidumbre situacional. A todo esto, se destaca la diferencia entre el tiempo de reacción y la ejecución del movimiento como componentes de la habilidad motora en acción. Aunque conceptualmente está alejada de la anterior, Famose (1990) muestra también una clasificación que parte de la dificultad de la tarea. El autor establece este concepto como el

elemento que permite descifrar los elementos que componen las habilidades motoras que requieren las actividades físicas. Sostiene que las tareas con poca incertidumbre son más manipulables a la dificultad. Por el contrario, las de mayor incertidumbre no son tan manipulables, puesto que, intrínsecamente, ya son difíciles. El indicador que remarca la dificultad de la tarea viene establecido por la cantidad de objetivos que puede alcanzar el sujeto en base a las habilidades de que dispone y aplica eficazmente. Partiendo de aquí, Famose (1990) cataloga las habilidades motoras según la localización de la actividad cognitiva en la resolución del problema planteado. Si esta se centra en las limitaciones perceptivas, de decisión y motrices, la actividad cognitiva es en relación con la tarea. Si se centra en el sistema de tratamiento de la información, la actividad cognitiva es en relación al sujeto, y si la actividad cognitiva se centraliza en el cansancio y el estado energético, la actividad cognitiva es en relación al contexto. Schmidt y Wrisberg (2008) entienden el término “habilidad motora” como un acto o tarea que posee unas características específicas que la hacen única. En consecuencia, esta visión agrupa las habilidades, basándose en su parecido en el momento de ser ejecutadas y/o aprendidas, en tres grupos. El primero de ellos clasifica la habilidad motora en base a la organización de la tarea. Siguiendo esta propuesta, la habilidad adquiere su significado atendiendo a la secuencia de reproductibilidad de esta desde su inicio hasta su final. Cuando tiene un inicio y final claros y una duración muy corta, es una habilidad motora discreta. Cuando la duración es más larga y es el resultado de la suma de habilidades motoras discretas, se considera seriada, en donde la ordenación de aparición es significativa. Si, por el contrario, no tiene un inicio y final claros, siendo continuada y rítmica, es una habilidad continua. La segunda clasificación se acoge a las ideas de Famose (1990) y viene dada por la importancia relativa de

los elementos motores y cognitivos de la tarea. Contemplándolas desde esta visión, surgen las habilidades motoras, en donde el éxito de la habilidad depende de la calidad del movimiento por encima de parámetros perceptivos o de toma de decisión, y las habilidades cognitivas, opuestas a las anteriores. Finalmente, la tercera clasificación que presentan está basada en el nivel de previsibilidad del entorno. De aquí surgen las habilidades motoras abiertas y cerradas, próximas a la definición de Gentile (1972, 2000), propias de la propuesta de clasificación anterior.

### **3.1.3. En base al aprendiz que realiza la habilidad**

Parlebas (1981) presenta una clasificación de las habilidades motoras que contempla el estado del sujeto que realiza la acción con la incertidumbre de las condiciones ambientales y respecto a las acciones de los participantes eventuales de la situación. Si la incertidumbre del medio es pequeña, la automatización de las habilidades será más factible. Por el contrario, si esta es alta, la interpretación por parte del sujeto primará. Al mismo tiempo, el autor indica que la fuente de incertidumbre principal que existe en el juego a la hora de realizar una habilidad motora viene determinada por la presencia de oponentes, reduciéndose esta con los cooperantes. En el caso de las relaciones de colaboración, introduce la idea de comunicación motriz como parámetro para minimizar la incertidumbre mutua de las acciones respectivas. Por otro lado, en el caso de las relaciones de oposición, habla del concepto de contracomunicación motriz como el mensaje emitido para que la información de las propias acciones llegue al adversario de manera ínfima. El resultante final concluye en la definición de ocho situaciones motrices

surgidas de la combinación de la presencia o no de compañeros (P: Presentes-P: Ausentes), de adversarios (A: Presentes-A: Ausentes) y de la incertidumbre del medio (I: Presente-I: Ausente): PAI-PAI-PAI-PAI-PAI-PAI-PAI-PAI-PAI. Otra categorización que contempla la actuación del sujeto, y está muy enfocada a la realidad deportiva, es la que presenta Riera (1995, 2001, 2005). Este autor clasifica las habilidades atendiendo a tres aspectos: a) el entorno al que se debe prestar atención; b) los objetivos que se han de conseguir, y c) los instrumentos que se han de utilizar. Según él, el entorno humano está compuesto por el medio, los objetos, las personas, las normas y los conocimientos. De su interacción junto a la utilización de los instrumentos surgen las habilidades tipificadas como básicas, técnicas, tácticas, estratégicas e interpretativas. Las primeras son todas aquellas habilidades que permiten al sujeto relacionarse con el medio de manera natural. Los objetos presentes en este tipo facilitan esta relación. Las podemos ejemplificar en la habilidad motora de correr utilizando zapatillas deportivas. Son la base sobre la que se edifican las demás. Las habilidades técnicas referencian aquellas que el sujeto aprende para relacionarse con los objetos en el medio. Este debe adecuar sus acciones a las características del objeto y controlarlo. Esta relación puede ser regular si el objeto está fijo en el entorno, y variable cuando no. Estas habilidades permiten una mayor capacidad de relación con el entorno deportivo. Cuando las habilidades contemplan la relación del sujeto con las personas del entorno (compañeros y/o oponentes), se denominan tácticas. Las primeras tienden a la regularidad y las segundas tienden a la variabilidad. Son habilidades de relación personal presentes en el entorno deportivo. También pueden realizarse utilizando instrumentos. La diferencia con las habilidades estratégicas, correspondientes al siguiente nivel, es que estas últimas son las habilidades óptimas para obtener beneficio del reglamento deportivo. El

conocimiento del reglamento es esencial en toda práctica deportiva y la aplicación de este en beneficio propio deriva en las habilidades estratégicas. El deportista actúa en función de la globalidad de los aspectos (medios, objetos, deportistas y entorno). La estrategia se asocia a la preparación de la competición y afecta al aprovechamiento de todas las habilidades para conseguir el objetivo perseguido. Desde el punto de vista funcional, se puede considerar a los árbitros y/o jueces deportivos como instrumentos estratégicos de los cuales el deportista puede sacar ventaja. Finalmente, las habilidades interpretativas permiten entender todo lo que sucede en el entorno competitivo (propiedades y cambios en el medio, los objetos, las personas, las normas y los diversos instrumentos) y utilizar este conocimiento para planificar y decidir lo que se debe hacer para conseguir el objetivo. Estas habilidades afectan toda la actividad deportiva e integran todas las anteriores. Los instrumentos conceptuales, entendidos como los modelos de interpretación propios e individuales de cada sujeto, permiten la interpretación del entorno deportivo.

### **3.2. La complejidad de la habilidad motora. Entorno, tiempo y grados de libertad**

Existen dos factores que complican la posibilidad de establecer el significado exacto de complejidad motora. El primer factor es la gran variedad de movimientos existentes, así como la infinidad de características que los forman. Esto hace imposible especificar con exactitud qué componentes determinan que una habilidad motora sea considerada compleja o simple. Wulf y

Shea (2002) nos referencian una serie de aspectos los cuales podrían ser utilizados como indicadores del incremento de la complejidad de la habilidad: a) el aumento del tiempo de reacción (Henry y Rogers, 1960; Klapp, 1995); b) el aumento del tiempo del movimiento (Fitts, 1954); c) el aumento de los errores de ejecución y/o variabilidad (Schmidt, Zelaznik, Hawkins, Frank y Quinn, 1979), y d) el número de grados de libertad que posee la habilidad (Bernstein, 1967). Sin embargo, estos mismos autores nos hacen ver que, aunque cada uno de los conceptos presentados puede ser interesante para especificar la complejidad de la tarea, estos no pueden ser utilizados para todas las habilidades motoras existentes de forma individual y no son útiles. De hecho, manifiestan que la complejidad de la habilidad depende de la capacidad del aprendiz de procesar toda esta información y utilizarla en el entorno. La experiencia del sujeto realizando la habilidad motora, a raíz de los cambios que provoca en su capacidad de ejecutarla, es el segundo factor que incrementa la imposibilidad de establecer el significado exacto de complejidad. La experiencia juega un papel relevante en la percepción de la complejidad por parte del sujeto. A más experiencia realizando la habilidad motora, menos sensación de complejidad. Concretamente, la experiencia reduce todos los aspectos mencionados con anterioridad (Wulf y Shea, 2002). Por tanto, una misma habilidad puede ser considerada compleja por un sujeto, y simple por otro. En base a esto, Wulf y Shea (2002) convienen que una habilidad motora se considera compleja si tiene más de un grado de libertad, necesita tiempo para dominarse y es ecológicamente válida. Si en cambio tiene solamente un grado de libertad, necesita poco tiempo para dominarse y no es ecológicamente válida, es simple.

Según Rosenbaum, Chapman, Weigelt, Weis y Van der Wel (2012), la ejecución de una habilidad motora se rige por la intención de la acción. Esta se organiza en base a la eficiencia de la posición final prevista, condicionando la elección inicial del movimiento. Esto se acentúa si la posición resultante requiere de un alto grado de precisión (Short y Cauraugh, 1999). Hughes, Seegelke y Schack (2012) indican que la percepción de la precisión necesaria para realizar una habilidad varía según el sujeto. Esto significa que la organización del movimiento ante una habilidad motora que solicite un nivel de precisión alto para conseguir el objetivo pretendido será diferente en base a la necesidad percibida de control que tenga la persona que lo efectúa. Tal efecto influye en el cómo se realiza la habilidad, cualidad que se interrelaciona en este tipo de habilidades con el hacia dónde se hace (Schmidt y Lee, 2011), partiendo de la base de que el ejecutante siempre perseguirá un resultado confortable y consecuente con sus posibilidades (Rosenbaum, Van Heugten y Caldwell, 1996; Weigelt, Kunde y Prinz, 2006).

### **3.3. Habilidad motora y técnica deportiva**

La práctica deportiva conlleva la ejecución de un elevado número de habilidades motoras que han de estar en consonancia con lo especificado en el reglamento (Riera, 1989). El autor manifiesta que estas habilidades suponen asociaciones de movimientos nuevos que el deportista aprende durante el tiempo de práctica física que dedica al deporte en cuestión. A la vez, expone que su particularidad las ciñe a un contexto concreto en el que poseen un significado propio, siendo el epicentro para alcanzar un buen rendimiento deportivo.

Identificadas como técnica deportiva, difieren de un deporte a otro, y constituyen su gestualidad (Solà, 2010).

### **3.3.1. La técnica como habilidad motora específica**

Las habilidades motrices básicas son el pilar sobre el que se edifican las habilidades motrices específicas propias de una actividad física concreta (Figura 3-1) (Clark, 2005; Clark y Metcalfe, 2002). Adquiribles por todas las personas, estas están constituidas por habilidades locomotoras (ej., desplazamientos y saltos), manipulativas (ej., recepciones y lanzamientos) y de estabilidad (ej., equilibrio y giros) (Clark y Metcalfe, 2002; Lubans, Morgan, Cliff, Barnett y Okely, 2010). Son especialmente relevantes, debido a que si no se es competente en las habilidades motrices básicas se tienen menos posibilidades de acceder al rango de opciones de actividad física disponibles para llevar a cabo un estilo de vida activo, limitando aún más las probabilidades de aprender las habilidades motrices específicas presentes en juegos, deportes, danza y actividades recreativas (Lloyd, Saunders, Bremer y Tremblay, 2014). Estas últimas se componen de movimientos motores refinados y elaborados, en las que el contexto define las posibilidades de ejecución (Clark, 2005). Su entendimiento repercute en su aprendizaje motor y requieren de práctica física para llegar a ser habilidades motrices específicas eficientes, versátiles y adaptativas. Por esta razón, solamente las pueden realizar una parte de la población (Clark, 2007). En el ámbito de la actividad física y el deporte, las habilidades motrices específicas marcadas por el reglamento en cada modalidad son las que reciben el nombre de “técnica deportiva” (Solà, 2010).

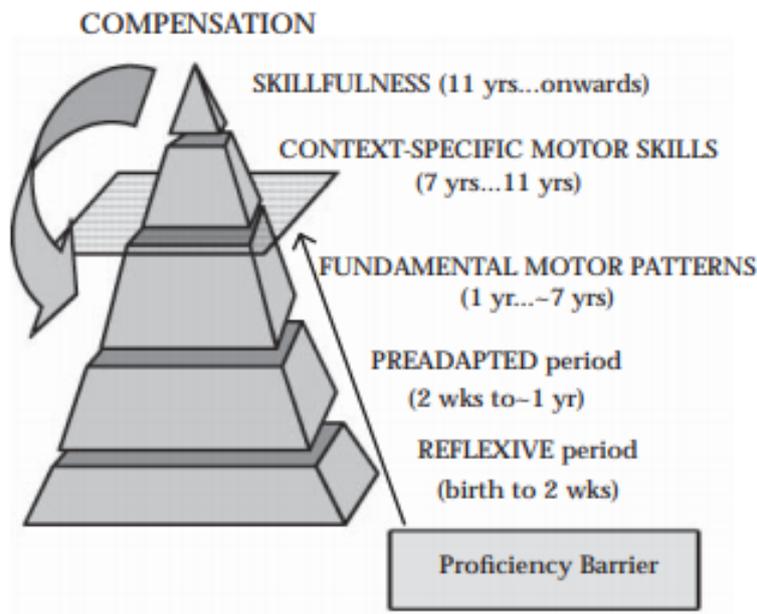


Figura 3-1. La montaña del desarrollo motor (Clark, 2007).

### 3.3.2. La técnica como ejecución eficaz y eficiente

Schmidt y Lee (2011) especifican que la finalidad de una habilidad motora es manifestar el movimiento más eficaz y eficiente en el momento preciso. Para comprender bien esta percepción, es necesario explicar que una habilidad motora no es un movimiento, aunque siempre estará formada por la suma de movimientos. Su principal diferencia es que la habilidad motora necesita ser ejecutada atendiendo a un objetivo concreto dentro de un entorno determinado, mientras que el movimiento no necesita un contexto para adquirir significado. Debido a esto, estos autores aseguran que ejecutar una habilidad que permita solucionar el problema suscitado por el entorno de manera competente requiere de tres características: a) conseguir el objetivo pretendido de manera regular atisbando cualquier ápice de suerte; b)

invertir el menor consumo de energía física y psíquica para realizar la habilidad motora, y c) invertir el menor tiempo posible en realizar el objetivo de forma correcta. La técnica deportiva expresa estas habilidades motrices específicas en el deporte y es entendida como la ejecución coordinada de todos los sistemas de percepción y respuesta del deportista en relación a las dimensiones físicas del entorno (Riera, 1995), encarna la ejecución motriz eficiente en el entorno físico en base a modelos biomecánicos (Solà, 2010) que permite la interacción eficaz del deportista con el medio y los objetos presentes en la actividad (Riera, 1995).

El aprendizaje motor de la técnica deportiva comporta la adaptación y el establecimiento de nuevas coordinaciones de movimientos en relación a las específicas situaciones deportivas (Riera, 1989). Esta manifiesta el planteamiento estratégico establecido o la decisión táctica tomada en función del grado de variabilidad marcado por la interacción de la movilidad de los deportistas y los objetos que utilizan (Riera, 1995, 2005). Las habilidades técnicas deportivas subyacentes de esta interacción pueden ser habilidades posturales en la constancia, habilidades cíclicas, habilidades acíclicas intrarrepetición, habilidades posturales cambiantes y habilidades acíclicas interrepetición (Solà, 2010). En los deportes de prestación, la habilidad técnica deportiva se presenta constante y atiende mayoritariamente a habilidades motoras de locomoción para el desplazamiento de ciclicidad técnica (Solà, 2010). No ocurre lo mismo en los deportes de situación. Ruiz y Arruza (2005) explican que este tipo de modalidades poseen una gran demanda perceptiva, cognitiva y coordinativa, y tienen características acíclicas, ya que están compuestas por habilidades motoras discretas que deben ser combinadas de formas muy variadas. Estas habilidades técnicas deportivas suelen exhibir un principio y un fin sin

solución de continuidad y una identidad y función propias, cuya ejecución tiene objeto en sí misma. Esto comporta, según los autores, que la técnica de ejecución no se someta a una repetición cíclica y continuada de un movimiento, sino que esta esté formada por combinaciones de movimientos cíclicos y acíclicos en los que la variabilidad adquiere un peso importante. Por este motivo, el dominio técnico pasa a ser fundamental. Los autores distinguen entre nivel de ejecución técnica y nivel de aplicación técnica. La primera resalta aspectos como la armonía, la fluidez, la economía y la precisión, y refiere la reproducción perfecta del modelo ideal de la técnica que se ejecuta, donde las capacidades coordinativas son las predominantes. En la segunda prepondera el ajuste, el momento y la oportunidad. Entiende que no existe un modelo ideal de ejecución, debido a que predominan los aspectos perceptivos y cognitivos. Este nivel es el que debe prevalecer a la hora de utilizar la técnica como elemento de soporte táctico.

### **3.4. La técnica de ejecución del chute**

Los objetivos principales de la biomecánica deportiva son identificar las características de la técnica que contribuyen al rendimiento motor exitoso o que predisponen a la lesión (Bartlett, 1999). En la investigación relacionada con el rendimiento, a menudo se utiliza una combinación de técnicas de modelado teórico y estadístico para identificar variables biomecánicas clave conocidas como “parámetros de rendimiento” (Bartlett, 1999; Lees, 1999). El desarrollo de un modelo determinista puede ayudar enormemente a identificar los parámetros significativos de la habilidad motora, puesto que estos están directamente relacionados con el resultado final (Lees, 2002). Además, sirve de base sobre la que fundamentar el análisis

cuantitativo (Chow y Knudson, 2011); práctica que utiliza el *feedback* obtenido a partir de una observación sistemática de la habilidad como parte de su dinámica para dar un juicio introspectivo de la calidad del movimiento humano y con el fin de proporcionar la solución más adecuada para mejorar el rendimiento (Knudson y Morrison, 1996).

La habilidad técnica del chute desde el punto de penalti es la habilidad motora compleja más estudiada a nivel biomecánico del fútbol (Katis et al., 2013; Lees et al., 2010; Lees y Nolan, 1998). Lees y Nolan (1998) describen el movimiento utilizando las referencias de Wickstrom (1975). Establecen que el chute se inicia mediante un desplazamiento de acercamiento a la pelota estacionada de uno o más pasos. Al llegar a la pelota, se coloca el pie de apoyo en el lateral de esta, y ligeramente por detrás. En esta posición, la pierna de golpeo primero se lleva hacia atrás, flexionándose a la altura de la rodilla. Posteriormente, se desplaza hacia adelante al rotar la pelvis alrededor de la pierna de apoyo, mientras el muslo de la pierna de impacto favorece este desplazamiento y la rodilla continúa flexionada. A medida que la pierna de impacto se acerca a la pelota, el muslo comienza a desacelerar el movimiento, llegando a estar prácticamente inmóvil al contactar con esta. Durante esta desaceleración, la pierna se extiende vigorosamente alrededor de la rodilla hasta una extensión casi total al contactar con el balón. Permanece recta durante el contacto y comienza a flexionarse en la dinámica posterior, llegando a situar el pie por encima del nivel de la cadera (Figura 3-2). Según los autores, el movimiento termina cuando el balón ha llegado a su objetivo, determinando el éxito del golpeo (Lees et al., 2010). Chutar un balón a portería exitosamente requiere eficacia y precisión (Katis et al., 2013; Lees et al., 2010). En el juego real, es importante saber chutar con las dos piernas. Varios son

los estudios que han manifestado diferencias cinemáticas significativas al realizar el golpeo entre la pierna dominante y la no dominante intersujeto (Dörge, Andersen, Sørensen y Simonsen, 2002; Nagasawa, Demura, Matsuda, Uchida y Demura, 2011). Al mismo tiempo, realizar un chute buscando precisión y velocidad resta eficacia a la habilidad técnica (Lees y Nolan, 1998). Por este motivo, los procesos de estabilización biomecánica y de aprendizaje motor para un buen desempeño requieren mejoras en ambos aspectos y en todas los periodos de la habilidad técnica del chute (Lees y Nolan, 1998; Teixeira, 1999).

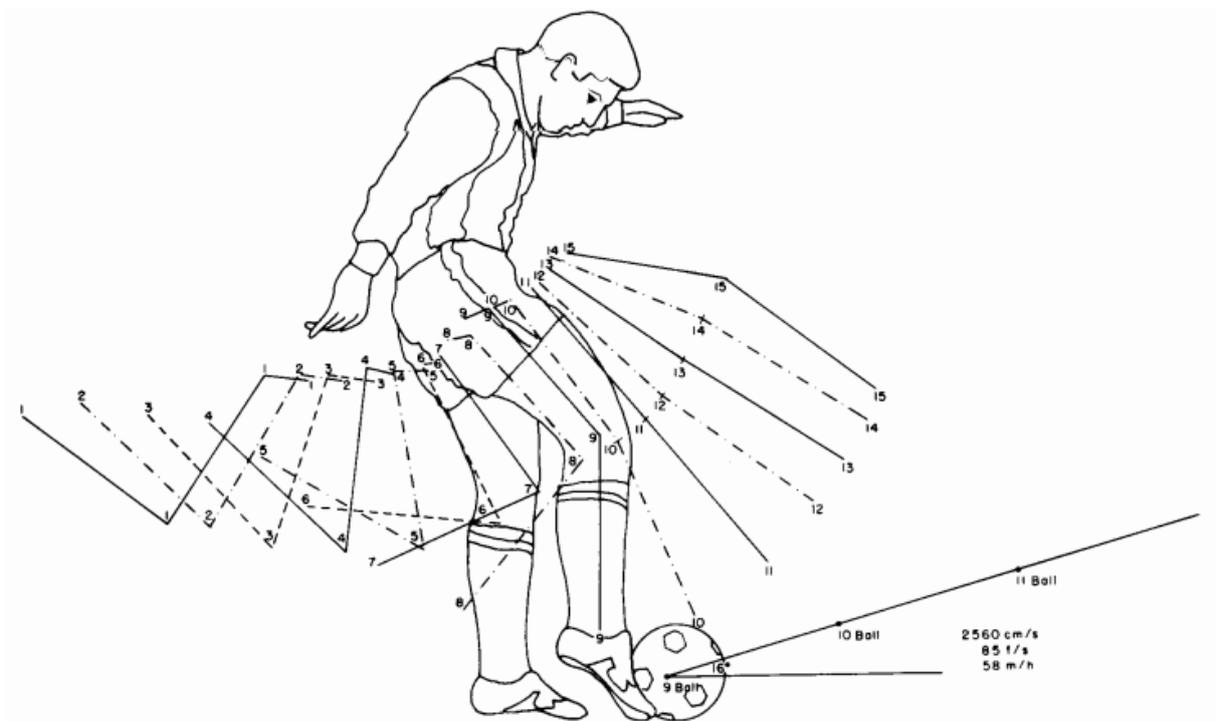


Figura 3-2. Cinemática del golpeo del balón con el pie en un lanzamiento de penalti (Lees y Nolan, 1998).

### 3.4.1. Parámetros funcionales para realizar un chute veloz

Dentro de cada periodo de los especificados por Lees et al. (2010) y Lees y Nolan (1998), se han encontrado parámetros íntimamente relacionados con la velocidad final del golpeo del balón. En el periodo de aproximación, Isokawa y Lees (1988) comprobaron que el ángulo de aproximación más eficaz para conseguir la máxima velocidad de la pelota es de 45°. Los sujetos, desde esta posición, realizan entre dos y cuatro pasos de aproximación, creando una velocidad de desplazamiento de entre 2 y 4 m/s. Este es un aspecto determinante para la velocidad final del chute (Lees et al., 2010). Más adelante, Andersen y Dörge (2011) complementaron esta información exponiendo que la obtención de la velocidad máxima de la pelota en base a la velocidad de aproximación es específica de cada sujeto. Estos autores llegaron a esta conclusión después de plantear un estudio en el que a siete futbolistas adultos se les pidiera chutar a la máxima velocidad alterando la velocidad de aproximación. Comprobando que la velocidad de la pelota obtenida cuando los sujetos seleccionaban la velocidad de aproximación era más alta que cuando esta venía establecida. Otro aspecto concluyente para la velocidad final del chute es la longitud del último paso de aproximación (Lees y Nolan, 2002). A través de un estudio en el que dos futbolistas profesionales tenían que realizar diez lanzamientos simulando un lanzamiento de penalti hacia un objetivo situado a la derecha de la portería, los autores constataron que en los lanzamientos en los que se pidió a los sujetos que priorizaran la velocidad sobre la precisión, la longitud del último paso era más grande, obteniendo una diferencia de casi 30 cm. Lees et al. (2010) añaden que la curvatura existente en la fase de aproximación induce una inclinación superior del tronco inferior, rasgo que

permite aumentar la velocidad del pie de impacto debido a una extensión de rodilla de esta misma pierna más pronunciada. Los mismos autores indican que en el segundo periodo, el cual hace referencia a la localización de la pierna de apoyo y la pelvis antes del impacto, desde el momento que el pie de apoyo contacta con el suelo hasta el impacto con el balón, la pelvis pasa de una posición de anteversión a retroversión en un promedio medio de rotación de 30° a 36°. En relación con la inclinación pélvica, marcan que esta se orienta hacia adelante entre 17° y 25° en el momento de iniciar el chute. Para, acto seguido, desplazarse hacia atrás entre 10° y 20° al contactar con la pelota. Acentúan que, si se observa la oblicuidad de la pelvis en los mismos momentos, se detectan entre 2° y 3° de descenso de la pelvis al iniciar el chute y entre 10° y 15° de ascenso al contactar con la pelota. Parámetros que, combinados con la inclinación de la parte inferior del cuerpo comentada anteriormente, consiguen aumentar aún más la extensión de la rodilla de la pierna de impacto y, en consecuencia, la velocidad del pie que contacta con la pelota. El tercer periodo recae sobre el recorrido de la pierna de impacto. Existe una relación directa entre la velocidad del pie de impacto y la velocidad final de la pelota, siendo un indicador del éxito del chute (Asai, Carré, Akatsuka y Haake, 2002; Kellis y Katis, 2007; Lees et al., 2010; Lees y Nolan, 1998). Se ha estudiado en base a la interacción segmental, ya que tiene un gran potencial para explicar el movimiento eficiente, en el que las articulaciones adyacentes y/o distantes interactúan para lograr una mayor velocidad final. El estudio de Nunome, Ikegami, Kozakai, Apriantono y Sano (2006) aporta información acerca de los cambios articulares justo antes del impacto con la pelota. Los autores mostraron que, en ese instante, el momento de extensión de la rodilla disminuyó yendo hacia un momento inverso de flexión, para volverse a invertir en el momento del impacto. Esto, unido a lo especificado en los

dos primeros periodos, hace que la velocidad angular de la extremidad en relación a las diferentes articulaciones fluctúe de manera combinada justo antes del impacto, dotando de mayor relevancia en la velocidad final a la articulación de la cadera que al resto (Figura 3-3). El cuarto periodo es el movimiento compensatorio de la parte superior del cuerpo. Tal y como afirman Lees et al. (2010), de este destacan la actuación de los brazos durante las fases que hemos comentado. Antes del contacto de la pierna de apoyo con el suelo, el brazo correspondiente a la pierna de apoyo está en abducción y totalmente extendido, para estar en aducción y flexionado horizontalmente en el momento de contacto con la pelota. Los hombros están rotados, llegando a una extensión horizontal de  $158^\circ$  y una abducción de  $36^\circ$  en lanzadores expertos, y se mueven siguiendo la actuación de la pelvis. Este movimiento compensatorio se ha relacionado con el ciclo de estiramiento-acortamiento surgido de la retracción de la pierna de impacto y del brazo de la pierna de apoyo, identificado con el nombre de “arco de tensión”. Lees y Nolan (2002) encontraron unos valores mucho más altos de esta variable para chutes que buscaban máxima velocidad ( $38^\circ$ - $42^\circ$ ) que para chutes que buscaban precisión ( $6^\circ$ - $12^\circ$ ), denotando con ello la importancia que adquiere en el primer caso. El siguiente periodo hace hincapié en la interacción del pie de impacto con la pelota. Lees et al. (2010) y Lees y Nolan (1998) resaltan la relevancia que tiene el calzado utilizado y el tipo de pelota en la velocidad y precisión final del chute. Por el objetivo de estudio del presente trabajo, nosotros no profundizaremos en estas variables. No obstante, sí que estudiaremos el momento de interacción mediante los ángulos biomecánicos de las articulaciones participantes. Los mismos autores indican que la duración máxima del periodo es de 10 ms, haciendo imprescindible el uso de imágenes de vídeo a cámara lenta para su análisis. Nunome, Shinkai y Ikegami (2012)

explican que el aumento del tiempo de impacto entre el pie y la pelota no influye positivamente en la velocidad final de esta. Sobre este mismo aspecto, Ishii, Yanagiya, Naito, Katamoto y Maruyama (2012) exponen que la velocidad final de la pelota se ve más afectada por la velocidad del pie en el instante inicial del impacto que por otros factores. Dicen también que el rol de la articulación del tobillo es determinante en la velocidad final de la pelota. En sintonía con la disminución de la velocidad de la pierna de impacto justo antes de este, está la reducción de la fuerza reactiva de la articulación indicada como parámetro positivo para incrementar la velocidad del lanzamiento al modificar el punto de impacto en la pelota. Además, se ha descubierto que el impacto a la pelota ha de ser preciso para que el chute adquiera altas velocidades. Asai et al. (2002), analizando un vídeo a cámara lenta a 4500 fps de la interacción entre el pie y la pelota en el momento del impacto, indicaron que cuando la distancia entre el centro del área de impacto del pie y el centro de la pelota es similar al radio de la pelota, el área de contacto y el tiempo del impacto disminuyen y la energía transmitida es muy pequeña. Con ello mostraron que existe una relación directa entre los dos centros y el radio de la pelota que, junto a la deformación sufrida por esta a raíz del impacto, afecta de manera opuesta en la velocidad final y el efecto del chute. El sexto y último periodo que diferencian Lees et al. (2010) y Lees y Nolan (1998) es el que corresponde al vuelo de la pelota después del impacto. Cabe indicar que la técnica del chute resumida en los periodos anteriores otorga a la pelota una velocidad lineal y angular que determinan su trayectoria y el éxito final del lanzamiento.

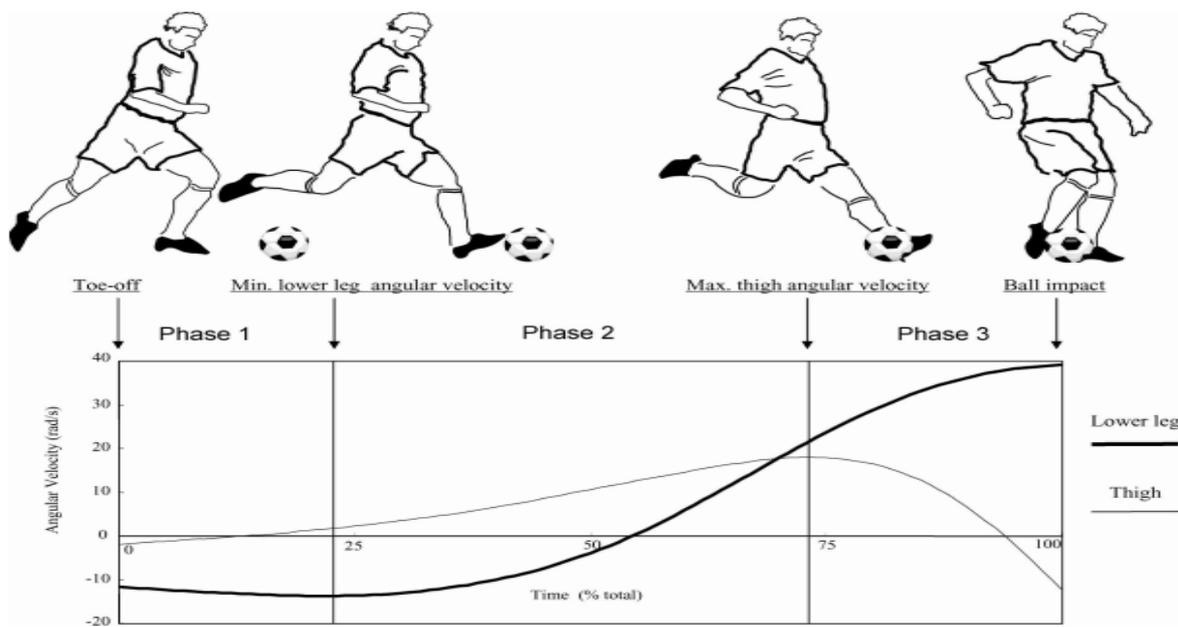


Figura 3-3. Fluctuación de la velocidad angular de las articulaciones de la pierna de impacto antes del contacto con el balón (Nunome et al., 2006).

### 3.4.2. Parámetros funcionales para realizar un chute preciso

Un chute, para ser eficaz y conseguir marcar gol, tiene que combinar velocidad y precisión (Katis et al., 2013; Lees et al., 2010). Igual que en el apartado anterior con la velocidad, la biomecánica ha definido los parámetros de cada periodo que interfieren en la precisión de un lanzamiento de penalti. Lees et al. (2010) y Lees y Nolan (1998) destacan que en el primer periodo, el de aproximación, la curvatura de acercamiento existente permite adoptar una posición estable para realizar el lanzamiento, aspecto que favorece la precisión. De la misma fase, la velocidad de aproximación también ha sido indentificada como un factor influyente. Andersen y Dörge (2011) indican que cuando esta no es la seleccionada por el lanzador, siendo más alta de la que escogerían, la precisión del lanzamiento baja. Del segundo

periodo, el cual hace referencia a la localización de la pierna de apoyo y la pelvis antes del impacto, Lees et al. (2010) reseñan la estabilidad de la pelvis como un elemento significativo en la precisión del pie de impacto en la pelota, parámetro que está íntimamente ligado con la precisión final del chute. Otro aspecto que destaca la literatura es la relación existente entre la pierna dominante y la no dominante de impacto y el devenir del cuerpo para obtener un lanzamiento preciso. Los científicos han descubierto que la precisión disminuye dependiendo de la pierna de impacto, influido por la dirección que quiere darse a la pelota (Van Der Kamp, 2006), la técnica del chute y el equilibrio de la habilidad técnica en base a la pierna de apoyo (Nagasawa et al., 2011; Tracey et al., 2012). Respecto a la dirección, Katis et al. (2013) añaden que la activación muscular de la pierna de impacto variará según la zona a la que apuntemos. Al mismo tiempo, de la técnica del chute, Sterzing, Lange, Wächtler, Müller y Milani (2009) subrayan que el lanzamiento es más preciso cuando se utiliza el interior del pie, atendiendo a la interacción velocidad-precisión, en comparación al realizado con el lateral del empeine y el empeine total. Del tercer periodo, Teixeira (1999) interpreta que la reducción de la velocidad angular y/o lineal de la pierna de impacto, justo antes de contactar con la pelota, es una estrategia de control motor para incrementar la precisión final del chute. En el cuarto periodo, el correspondiente al movimiento compensatorio de la parte superior del cuerpo, la elevación horizontal del brazo repercute en la precisión final del lanzamiento (Lees et al., 2010). Esta elevación del brazo equilibra el movimiento y, junto al arco de tensión, favorece la combinación entre precisión y velocidad. Del periodo que atañe a la interacción del pie de impacto con la pelota, sin querer profundizar debido a que se aleja mucho de nuestro objeto de estudio, se destacan las botas de fútbol utilizadas como un elemento que incrementa la precisión del

lanzamiento en comparación al chute descalzo (Hennig, Althoff y Hoemme, 2009). Además, Lees et al. (2010) añaden que, debido a la corta duración de este periodo, la capacidad del sujeto que realiza el chute es uno de los elementos más significativos en la relación final velocidad-precisión. Del último periodo, el vuelo del balón, no existe ningún aspecto determinante propiamente dicho, ya que se entiende como la fase resultante de la acción causada por la técnica de ejecución, el impacto sobre la pelota y la relación que esta establece con la atmósfera.

---

## **PARTE EMPÍRICA**

---

# **CAPÍTULO 4. EFECTOS AGUDOS DEL *FEEDBACK* VISUAL EN VÍDEO DE ALTA VELOCIDAD SOBRE EL APRENDIZAJE Y LOS PARÁMETROS DE RENDIMIENTO EN EL CHUTE A PORTERÍA EN ADOLESCENTES**

## **4.1. Introducción**

La visión es una de las modalidades sensoriales que tiene más relevancia en el aprendizaje motor; de hecho, es esencial para realizar una habilidad motora asociada a un entorno determinado. El sistema visual permite ajustar los movimientos y/o posiciones para adaptar las extremidades a un objeto y/o al suelo (Riemann y Lephart, 2002). La percepción visual y el control visual espacial se procesan en diferentes partes de la corteza del sistema nervioso, lo que hace posible disociar ambos mecanismos visuales para participar en las habilidades de movimiento. En la corteza frontal se procesa la percepción visual del entorno junto con la información del área sensorial primaria y del sistema límbico (donde se localiza el conocimiento de la experiencia previa sobre lo observado). En cambio, en la corteza occipital se desarrolla el mecanismo de adaptación en tiempo real (Morris, Spittle y Perry, 2004; Short,

Tenute y Feltz, 2005). Ambas áreas de la corteza están relacionadas y pueden complementarse en un comportamiento motor adaptativo. De hecho, cuando un sujeto ha tenido experiencia previa sobre lo que está observando, el aprendizaje motor aumenta y es más rápido (Goodale, 2011). La información espacial requiere estrategias visuales ajustadas para percibir la ubicación de los objetos, los proyectiles y el propio cuerpo. Este aspecto es particularmente claro cuando un sujeto intenta realizar una habilidad motora en ausencia de aportación visual, ya que hay más errores en la posición específica de las articulaciones y en los ajustes de la tensión muscular previstos (Scheidt, Conditt, Secco y Mussa-Ivaldi, 2005). Las estrategias visuales como la observación, la imitación y la demostración han sido ampliamente investigadas en el ámbito del aprendizaje motor. Desde una perspectiva neurofisiológica, el *feedback* visual promueve la activación de las neuronas espejo. Basado en el descubrimiento de estas en los seres humanos, se concluyó que tales neuronas se activan cuando vemos a alguien en acción. Las neuronas espejo tienen la capacidad de proporcionar potencial a los mecanismos de acción, a las actividades innatas, al aprendizaje imitativo y de estimular las neuronas de asociación. La activación de estas neuronas cambia el comportamiento de los observadores, pues nuestro cerebro actúa como si estuviéramos haciendo la misma habilidad motora que estamos mirando, incluso sin estar desarrollándola (Rizzolatti, 2005; Rizzolatti, Fadiga, Gallese y Fogassi, 1996). La activación inconsciente de estas neuronas nos permite imitar gestos y/o emociones, pero no garantiza el aprendizaje motor, ni construye un patrón motor estable. Para habilitar el aprendizaje, es necesario que el observador haya tenido experiencia previa haciendo la misma habilidad motora. Cuanto más profunda sea la experiencia del observador, mayor será su capacidad para reproducir la habilidad observada con precisión. La acumulación de

experiencias motrices es el rol de la capacidad de propiocepción, que permite que el gesto recordado sea preciso sin aportación visual y por lo tanto sin la acción de las neuronas espejo (Han, Anson, Waddington y Adams, 2014; Montero, 2006). Mientras que la repetición inmediata de una habilidad motora observada es apoyada casi exclusivamente por el sistema de las neuronas espejo, cabe destacar que estas también son responsables del almacenamiento de la habilidad observada en fragmentos durante el proceso de aprendizaje. Según las necesidades, posteriormente estos se vuelven a ensamblar en una secuencia para que la habilidad motora pretendida se reproduzca lo más cerca posible de la habilidad motora observada (Zwicker, Missiuna, Harris y Boyd, 2011).

Las instrucciones son descripciones verbales que relatan la ejecución enfatizando ciertas partes del movimiento, en cambio, el *feedback* es una respuesta de retorno. Se subdivide en *feedback* intrínseco y *feedback* extrínseco. El primero hace referencia a la capacidad del individuo de procesar su propia información sensorial con el fin de internalizar y comprender los ajustes necesarios a realizar en la habilidad motora perseguida (Schmidt y Lee, 2011; Schmidt y Wrisberg, 2008). El segundo se manifiesta cuando el individuo confía en la entrada de información de una fuente externa, sean las apreciaciones de otra persona o de una grabación en vídeo, para entender los ajustes que necesitan ser hechos. Además, este último puede considerarse como retroalimentación concurrente si se proporciona durante la ejecución, o terminal, cuando se proporciona al final de esta. Por otro lado, su taxonomía contempla varias modalidades: visual, auditiva, táctil o multimodal (Sigrist et al., 2013). Retroalimentar al aprendiz mediante *feedback* obtiene mejores resultados que mediante instrucciones. Esto es

debido a que es dado durante los intentos y no solo antes de que empiecen, proporcionando un recordatorio constante (Shea y Wulf, 1999).

En una revisión reciente, Sigrist et al. (2013) señalaron la falta de estudios de *feedback* visual concurrente aplicado a habilidades propias del deporte. Esto se debe a que los beneficios obtenidos mediante el uso del *feedback* concurrente se han obtenido también con el uso del *feedback* terminal frecuente, resolviendo paralelamente con su aplicación la dependencia creada sobre el sujeto por el primer tipo (Blandin, Toussaint y Shea, 2008). Otros estudios han investigado los efectos de diferentes modalidades de *feedback* sensorial en los deportes. Por ejemplo, Rhoads (2012) investigó si el *feedback* visual en vídeo era más efectivo que el *feedback* auditivo-verbal en el aprendizaje motor de un remate en voleibol, encontrando mejoras en ambas modalidades, sin diferencias significativas entre ellas. Sin embargo, Menickelli (2004) reportó diferencias significativas entre cuatro modalidades diferentes de *feedback* (presencia/ausencia de *feedback* del instructor/vídeo) al estudiar un lanzamiento estándar de disco volador. Los resultados indicaron que el *feedback* visual en vídeo controlado por uno mismo y por un instructor era más efectivo que el *feedback* verbal controlado por uno mismo o por un instructor al aprender una habilidad motora con diversos grados de libertad. Además, hay que atender a los hallazgos de Guadagnoli et al. (2002), los cuales reportaron beneficios significativos del uso de *feedback* visual en vídeo en la ejecución del *swing* de golf. Estos autores testaron la velocidad y la exactitud comparando el *feedback* visual en vídeo, las instrucciones verbales dadas por un entrenador experto y el autoguiado. En el pretest, todos los grupos mostraron resultados similares; no obstante, los resultados de los grupos fueron bastante

variados en los dos posttest posteriores. En el primero, realizado inmediatamente después de la prueba, el grupo autoguiado demostró un mejor desempeño que los dos grupos instruidos. Sin embargo, en el segundo posttest, llevado a cabo dos semanas después, los resultados del grupo autoguiado no fueron tan buenos como los de los otros dos, obteniendo las mejores marcas los participantes que recibieron *feedback* visual en vídeo.

Una condición de práctica común que se encuentra tanto en la educación física como en el entorno deportivo consiste en observar la demostración de un modelo experto (Siedentop, 1994). El modelado implica que los aprendices vean demostraciones en vivo o grabadas a partir de las cuales pueden recoger la información del patrón de movimiento. El aprendizaje motor se facilita mediante la participación del aprendiz en las habilidades de resolución de problemas con respecto a la corrección de errores (Amara et al., 2015). Cassidy et al. (2006) demostraron la importancia de usar el *feedback* visual en vídeo modelado para mejorar la adquisición de habilidades. Los autores también señalaron la pertinencia del tipo de *feedback* visual en vídeo, la información revelada y el modo de transmisión como elementos clave del proceso. Más adelante, Boyer et al. (2009) estudiaron los efectos de diferentes protocolos de aprendizaje motor en términos de observación de vídeo de modelos expertos y grabaciones de autoejecución en gimnastas jóvenes. Estos autores utilizaron el vídeo de las secuencias de movimiento en cámara lenta y a velocidad real para proporcionar *feedback*. Sus resultados revelaron que el modelado de vídeo, en primer lugar, luego la visualización de la autoejecución y finalmente las instrucciones verbales, por este orden, eran las mejores estrategias para disminuir el número de sesiones de aprendizaje de una habilidad motora dada.

Ejecutar eficazmente las habilidades motoras propias de una disciplina deportiva conlleva realizar un proceso de aprendizaje que requiere tiempo y práctica física. La optimización de este camino da como resultado un mejor progreso y un mayor rendimiento en el juego. Cada modalidad utiliza sus propias habilidades técnicas, siendo unas más decisivas que otras. Una habilidad motora se considera simple si posee solamente un grado de libertad, necesita poco tiempo para dominarse y es artificial. En cambio, se considera compleja si tiene más de un grado de libertad, necesita tiempo para dominarse y es ecológicamente válida (Wulf y Shea, 2002). La técnica deportiva comprende los mecanismos de ejecución específicos que cada modalidad presenta, y es identificada como un ejemplo de habilidad motora compleja. En el fútbol, una de las habilidades técnicas más determinantes es el chute (Lees et al., 2010). Por ejemplo, en la copa del mundo del año 2010 el promedio de goles por partido fue de 2.27. El 75.86% de estos se anotaron en situaciones de juego abiertas, y el 24.14% restante se consiguieron en situaciones a balón parado. De los 134 goles registrados, 108 llegaron a través de la habilidad técnica del chute, por solo 26 mediante un remate de cabeza (Njororai, 2013). Resultados similares se obtuvieron en el mundial del 2014, en el que se consiguieron 123 goles con el pie, de 171 (Yiannis, 2014). De todos los tipos de chutes existentes, el que más ampliamente ha sido descrito en la literatura especializada es el que hace referencia al chute en el cual se obtiene la máxima velocidad del golpeo de pie con el empeine a una pelota detenida. Este es el que corresponde a un lanzamiento de penalti en el fútbol. La habilidad técnica completa de esta acción se compone de seis periodos: a) los pasos de aproximación a la pelota; b) la localización de la pierna de apoyo y la pelvis antes del golpeo; c) el recorrido de la pierna de impacto; d) el movimiento compensatorio de la parte superior del cuerpo; e) la interacción

del pie de impacto con la pelota, y f) el vuelo final de esta (Lees et al., 2010; Lees y Nolan, 1998). Chutar de manera eficaz y exitosa depende de la potencia otorgada junto a la precisión obtenida en la fase en la que el balón está desplazándose después del contacto con el pie y se dirige hacia su objetivo (Katis et al., 2013; Lees et al., 2010). La precisión tiene una influencia significativa sobre la velocidad resultante y viceversa. De hecho, el chute comienza a mostrar signos de pérdida de eficacia en situaciones donde se exige velocidad y precisión simultáneamente (Lees y Nolan, 1998), por lo que los procesos de estabilización y aprendizaje motor para un buen desempeño requieren mejoras en ambos aspectos y en todas los periodos señalados (Lees y Nolan, 1998; Teixeira, 1999).

Varios estudios han investigado los efectos de distintas modalidades de *feedback* visual en vídeo sobre la estabilización de las habilidades motoras, con diferentes resultados prometedores. No obstante, hasta donde sabemos, pocos se han centrado en los efectos del vídeo de alta velocidad para proporcionar *feedback* a los participantes después de ejecutar una habilidad motora compleja. Esta tecnología está actualmente disponible para profesores y entrenadores deportivos en diferentes entornos de aprendizaje, siendo capaz de proporcionar una experiencia de *feedback* enriquecida, ya que las cámaras de vídeo de alta velocidad muestran una reproducción de imagen más clara, facilitando a los aprendices la posibilidad de concentrarse mejor en su propia ejecución. Por estos motivos, el objetivo de este estudio fue analizar los efectos agudos del *feedback* visual en vídeo de alta velocidad en la ejecución de la habilidad técnica del chute en jugadores de fútbol adolescentes. Planteamos la hipótesis de que los jugadores que reciben *feedback* visual en vídeo de alta velocidad pueden mejorar la

precisión y la velocidad del chute más que los otros sujetos. Al mismo tiempo, también comprobamos los efectos agudos de este tipo de *feedback* sobre la estabilización del patrón de movimiento (a través del control de un conjunto de ángulos surgidos de la habilidad técnica del chute, focalizados en las extremidades inferiores, y de los tiempos de ejecución de los diferentes periodos del movimiento), con la hipótesis complementaria de que los sujetos pueden estabilizar mejor su movimiento durante el desarrollo de los periodos de la habilidad técnica del chute gracias al suministro del *feedback* visual en vídeo de alta velocidad.

## 4.2. Material y método

### 4.2.1. Sujetos

En total participaron en el experimento 19 jugadores de fútbol. Todos los sujetos fueron adolescentes de una edad media comprendida entre  $16.5 \pm 2.3$  años, los cuales fueron reclutados voluntariamente para realizar este estudio. La pierna dominante de todos los participantes era la diestra, estando todos ellos en activo en el momento de la investigación (participaban en 3-4 sesiones de entrenamiento por semana), competían en campeonatos nacionales y no sufrían ninguna lesión que les impidiera realizar la actividad con normalidad. Una vez concretado el grupo, se les pidió a los sujetos suspender sus sesiones de entrenamiento al menos 24 h antes del test. Los participantes no tenían ninguna experiencia previa con la tarea experimental, pero sí realizando la habilidad técnica del chute y no eran conocedores del propósito del estudio. El

estudio se realizó con el consentimiento informado de los padres y siguiendo todas las directrices para la investigación experimental con seres humanos. El Comité de Ética de la Universitat Ramon Llull de Barcelona aprobó el desarrollo de este estudio, que se realizó de acuerdo con la última versión de la Declaración de Helsinki.

### **4.2.2. Aspectos éticos**

El estudio cumplió cada uno de los expuestos manifestados a continuación. Para tal fin se siguieron las propuestas validadas y presentadas por el Comité de Ética de la Universitat Ramon Llull.

- La investigación fue en beneficio del deporte y la sociedad. Tenía como finalidad optimizar y fomentar la utilización de la tecnología para el uso deportivo. En consecuencia, constituyó un beneficio para tal fin. Además, la administración del test no presentó ninguna incomodidad ni peligro, ya que los participantes estaban acostumbrados a realizar durante su práctica física diaria la habilidad técnica de estudio. Los riesgos derivados eran los mismos que los que podía tener cualquier otra habilidad motora que se realizase durante una sesión de entrenamiento ordinario.
- Se mantuvo un tratamiento confidencial de los datos de los participantes. No se rebelaron los nombres, y el material obtenido de las filmaciones se usó con fines académicos. Junto a ello, para poder administrar el test, todos los participantes recibieron las instrucciones previamente. Al ser la gran mayoría de ellos menores de

edad, se les hizo llegar la información a la persona que tenía su potestad jurídica, requiriendo su aprobación mediante su firma.

- En relación con el consentimiento informado, la información se aportó verbalmente y por escrito, siguiendo las normas de la declaración de Helsinki y de sus sucesivas revisiones. La participación fue de carácter voluntario, pudiendo abandonar su colaboración temporal con esta investigación cuando el participante lo deseara. Cada uno de los sujetos que compuso la muestra entregó el consentimiento informado firmado por la persona que tenía su potestad, previamente a su participación en el test.

### **4.2.3. Procedimiento**

#### **4.2.3.1. Instrumentos**

Para estructurar la tarea del estudio, así como su protocolo, se requirieron tres cámaras de vídeo de alta velocidad Casio® EXILIM EX F1 para grabar la habilidad motora compleja, analizarla y dotar de *feedback* a los participantes (Figura 4-1). Un Radar Stalker® permitió conocer la velocidad de desplazamiento del móvil. Este fue un balón de fútbol oficial de tamaño 5 a 0.8 atm de presión, según reglamento, que controlamos a través de un manómetro. También se usó una lona de 6 m<sup>2</sup> para delimitar las áreas de precisión de la portería y una rampa calibrada para lanzar los balones a velocidad controlada (Figura 4-2 y 4-3). Finalmente se utilizó el programa de edición de vídeo Kinovea (versión 0.8.24.) para el análisis de las imágenes filmadas.



**Figura 4-1. Cámara de vídeo de alta velocidad Casio® EXILIM EX F1.**



**Figura 4-2. Lona utilizada en el test.**



Figura 4-3. Dispositivo lanza pelotas utilizado en el test.

#### 4.2.3.2. Tarea y configuración

Los participantes debían realizar una carrera de aproximación para chutar con su pie dominante (el diestro) un balón de fútbol tamaño 5 (0.8 atmósferas de presión) y dirigirlo con la mayor rapidez y precisión posible hacia un objetivo ubicado a una distancia de 9.85 m. El blanco estaba situado sobre una lona ( $3 \times 2$  m) y consistía en una diana con un radio de 0.5 m. El centro de esta estaba 1 m sobre el suelo y a 1.5 m del borde del manto. Este se colocó en una portería ( $6 \times 2$  m). También se señaló una cruz en el suelo para especificar la ubicación desde la cual los participantes debían chutar el balón. Esta estaba situada en el centro del lado de la zona de tiro ( $6 \times 3$  m) más cercano al objetivo. La esquina izquierda de esta área se estableció como el punto de partida. El dispositivo de proyección de la pelota estaba situado junto a la

esquina de la zona de tiro, frente al punto de partida, a 3 m de la cruz. El dispositivo lanzaba las pelotas a 2 m/s.

Tres cámaras de vídeo de alta velocidad (modelo Casio EXILIM EX F1, Casio Inc., Tokio, Japón) registraron todos los chutes. Todas las cámaras de vídeo estaban montadas en un trípode, y cada lente de la cámara estaba a 1.15 m sobre el suelo. Una cámara filmó la habilidad técnica desde el frente, otra cámara la filmó desde la vista sagital y la última cámara de vídeo de alta velocidad registró toda la escena desde una perspectiva oblicua.

Se registró la velocidad de la pelota utilizando un radar (Stalker Pro, Radar Sales Inc., Minneapolis, MN, EE.UU.) con una precisión de 0.04 ms<sup>-1</sup>, un rango de velocidad de 0.44-134.11 ms<sup>-1</sup> y un muestreo cada 0.01 s. El radar estaba conectado a una computadora portátil. Se colocó 5 m detrás del punto de impacto a una altura de 1.5 m para asegurar la exactitud de la grabación. Este además estaba alineado con la posición del lanzador y la dirección del objetivo para garantizar un error máximo de menos de 10 grados (1.5% de error) (Figura 4-4 y 4-5).



Figura 4-4. Configuración real del test del Estudio 1.

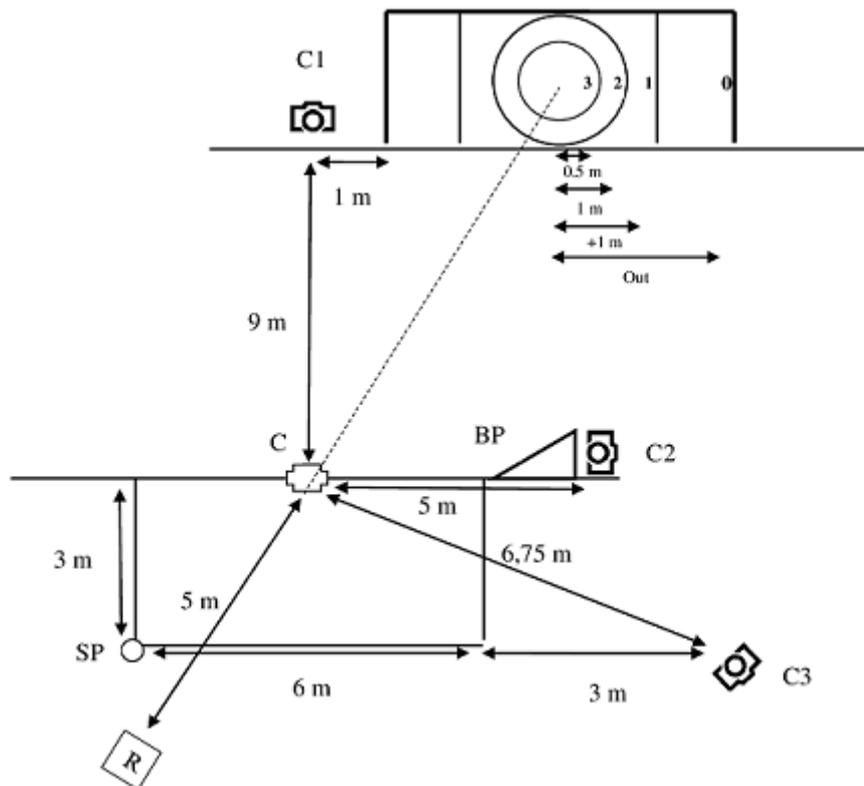


Figura 4-5. Esquema gráfico de la configuración del test del Estudio 1. *C* = Cruz en el suelo; *SP* = Punto de partida; *BP* = Dispositivo de proyección de bolas; *C1* = Cámara vista frontal; *C2* = Cámara vista sagital; *C3* = Cámara vista oblicua; *R* = Radar.

### 4.2.3.3. Diseño

Al inicio del test, los participantes fueron asignados aleatoriamente a uno de los dos grupos de investigación: a) con *feedback* visual en vídeo de alta velocidad (FEEDBACK) después de cada ensayo ( $n = 9$ ), y b) sin *feedback* visual en vídeo de alta velocidad (NON FEEDBACK) después de cada ensayo ( $n = 10$ ).

Ambos grupos recibieron instrucciones básicas sobre el procedimiento antes de la prueba. Estas fueron las siguientes:

- Grupo FEEDBACK: *Observa el siguiente vídeo sobre la habilidad técnica del chute. Has de fijarte en los puntos siguientes para realizarlo correctamente (Figura 4-6). El objetivo de la tarea que vas a realizar es conseguir tocar la diana situada en la portería (mostrar la diana) el máximo número de veces posible mediante la habilidad técnica del chute. El chute ha de ser lo más fuerte que puedas y con el empeine del pie (mostrar empeine del pie). Dispones de 20 chutes, los 5 primeros son de familiarización. Ahora estás en la posición inicial (mostrar la posición inicial). Después de la siguiente señal (mostrar la señal), has de realizar el chute en el momento en que el balón pase por encima de la zona señalizada (mostrar zona). Después has de observar la pantalla (mostrar la posición de la pantalla), volver a la posición inicial y, a la siguiente señal, repetir la habilidad técnica. Entre señal y señal hay 30 s.*

- Grupo NON FEEDBACK: *Observa el siguiente vídeo sobre la habilidad técnica del chute. Has de fijarte en los puntos siguientes para realizarlo correctamente (Figura 4-6). El objetivo de la tarea que vas a realizar es conseguir tocar la diana situada en la portería (mostrar la diana) el máximo número de veces posible mediante la habilidad técnica del chute. El chute ha de ser lo más fuerte que puedas y con el empeine del pie (mostrar empeine del pie). Dispones de 20 chutes, los 5 primeros son de familiarización. Ahora estás en la posición inicial (mostrar la posición inicial). Después de la siguiente señal (mostrar la señal), has de realizar el chute en el momento en que el balón pase por encima la zona señalizada (mostrar zona). Después del chute, has de volver a la posición inicial, y a la siguiente señal, repetir la habilidad técnica. Entre señal y señal hay 30 s.*

Estas instrucciones incluyeron una demostración de modelado de vídeo de los periodos del chute, subdivididos en fases, realizados por un experto. Esta grabación se registró de acuerdo con los siguientes criterios (adaptado de Lees et al., 2010; Lees y Nolan, 1998): a) el periodo de aproximación (desde el inicio del primer paso para acercarse a la pelota hasta el momento de contacto del pie de apoyo con el suelo); b) el periodo de apoyo (desde el contacto del pie de apoyo con el suelo hasta al contacto del pie de impacto con la pelota); c) el periodo de interacción del pie con la pelota (desde el contacto del pie con la pelota hasta el momento en que el pie deja de estar en contacto), y d) el periodo de vuelo del balón (desde el momento en que la pelota pierde el contacto con el pie hasta el momento en que esta alcanza el objetivo). Los periodos mencionados fueron utilizados para el análisis. De todos modos, dichos periodos

fueron fraccionados en siete fases identificables para el participante. A partir de estas fases, se elaboró el modelaje de vídeo de 30 s, que se administró a los participantes y fue visto dos veces (Figura 4-6).



## Fase 2: Pre-apoyo

Realizar el último paso antes de chutar el balón más largo que los anteriores.



## Fase 3: Contra-movimiento

Extender la cadera de la pierna que realiza el chute en dirección contraria al balón.



### Fase 4: Apoyo unipodal

Colocar el pie que no realiza el chute al lado del balón.



### Fase 5: Descenso de la pierna de ataque

Flexionar la cadera de la pierna que realiza el chute en dirección al balón.

Extender la rodilla de la pierna que realiza el chute en dirección al balón.





Figura 4-6. Fases de la habilidad técnica del chute.

A continuación, los participantes realizaron un pretest de 5 ensayos para, seguidamente, iniciar la fase práctica, que consistió en 15 lanzamientos más (repartidos en 3 bloques de 5 chutes, B1-5, B6-10 y B11-15, respectivamente) con un periodo de descanso de 30 s entre los ensayos y de 3 min entre los bloques. Después de cada lanzamiento, los participantes del grupo FEEDBACK recibieron *feedback* visual en vídeo de alta velocidad de su ejecución desde la cámara de vídeo de alta velocidad situada en el plano sagital junto al *feedback* de la velocidad obtenida a través del radar. El grupo NON FEEDBACK no recibió ningún tipo de *feedback*.

#### **4.2.3.4. Análisis de los datos**

El análisis del vídeo para obtener los datos se realizó con la versión de *software* Kinovea (versión 0.8.24.). Todas las variables que analizamos correspondían a los diferentes periodos y fases de la habilidad técnica del chute. Del periodo de aproximación, calculamos el tiempo transcurrido desde el inicio del primer paso hacia el balón hasta el contacto del pie de apoyo con el suelo (ATIME), junto al tiempo transcurrido entre el contacto con el suelo justo al iniciarse el último paso dado hasta nuevamente el primer contacto del pie de soporte (LSTIME). A partir de este punto, y ya en el periodo de apoyo, observamos el ángulo formado por la espina ilíaca anterior superior, el trocánter mayor y la tuberosidad tibial anterolateral (HSA1), el ángulo compuesto por el trocánter mayor, la cabeza del peroné y el maléolo lateral (KSA1), y el ángulo confeccionado por la sínfisis púbica, la rótula de la extremidad de apoyo y la rótula de la extremidad que golpea el balón (HFA). Todo esto, junto a la valoración de la distancia entre el pie de soporte y la pelota (FBD) y el tiempo de descenso de la pierna de chute

transcurrido entre el contacto del pie de soporte con el suelo hasta el impacto con la pelota (DTIME). Del periodo de interacción, y justo en el momento de contacto con la pelota, se obtuvo el ángulo formado por la espina ilíaca anterior superior, el trocánter mayor y la tuberosidad tibial anterolateral (HSA2), el ángulo constituido por el trocánter mayor, la cabeza del peroné y el maléolo lateral (KSA2), y el ángulo de inclinación del cuerpo estructurado por la sínfisis púbica, el maléolo lateral y la línea descrita por el plano vertical (BI). Del último periodo, el del vuelo del balón, se incluyeron las variables velocidad de desplazamiento (VEL) y precisión del chute (ACC) (Tabla 4-1).

Tabla 4-1. Descripción de los periodos del chute y las variables asociadas.

	APROXIMACIÓN	APOYO	INTERACCIÓN	VUELO
<b>PERIODOS</b>	Desde el inicio del primer paso para acercarse a la pelota hasta el momento de contacto del pie de apoyo con el suelo.	Desde el contacto del pie de apoyo con el suelo hasta al contacto del pie de impacto con la pelota.	Desde el contacto del pie con la de pelota hasta el momento en que el pie deja de estar en contacto.	Desde el momento en que la pelota pierde el contacto con el pie hasta el momento en que ésta alcanza el objetivo.
	<b>Tiempo aproximación (ATIME)</b>	<b>Ángulo sagital de la cadera 1 (HSA1)</b>	<b>Ángulo sagital de la cadera 2 (HSA2)</b>	<b>Velocidad (VEL)</b>
<b>VARIABLES</b>	Tiempo transcurrido desde el inicio del primer paso hacia el balón hasta el contacto del pie de apoyo con el suelo.	Ángulo formado por la espina iliaca anterior superior, el trocánter mayor y el tubérculo tibial anterolateral.	Ángulo formado por la espina iliaca anterior superior, el trocánter mayor y el tubérculo tibial anterolateral.	Velocidad media de la pelota durante el vuelo.
	<b>Tiempo último paso (LSTIME)</b>	<b>Ángulo sagital de la rodilla 1 (KSA1)</b>	<b>Ángulo sagital de la rodilla 2 (KSA2)</b>	<b>Precisión (ACC)</b>
	Tiempo existente entre momento de despegue del suelo del último paso hasta el primer contacto del pie de soporte.	Ángulo compuesto por el trocánter mayor, la cabeza del peroné y el maléolo lateral	Ángulo compuesto por el trocánter mayor, la cabeza del peroné y el maléolo lateral.	Desviación de la pelota desde el centro de la diana, en el momento en que alcanza su objetivo. Si no hay desviación, la puntuación es de 3 puntos; Entre 0,5m y 1m: 2 puntos; Más de 1m de distancia: 1 punto; Si el lanzamiento sale fuera, la puntuación es 0.
		<b>Ángulo frontal de la cadera (HFA)</b>	<b>Inclinación del cuerpo (BI)</b>	
	Ángulo hecho por la sínfisis púbica, la rótula de la extremidad de apoyo y la rótula de la extremidad que golpeaba el balón.	Ángulo formado por la sínfisis púbica, el maléolo lateral y la línea descrita por el plano vertical.		
	<b>Distancia pie-pelota (FBD)</b>			
	Distancia entre el pie de apoyo y la pelota.			
	<b>Tiempo de descenso (DTIME)</b>			
	Tiempo entre el contacto del pie de apoyo con el suelo hasta el impacto con el balón.			

Analizamos los ángulos y tiempos sagitales (HSA1, KSA1, ATIME, LSTIME, HSA2 y KSA2) desde C3. Mientras que obtuvimos los ángulos y distancias frontales (FBD y BI) desde C1. C2 se utilizó para proporcionar *feedback* visual en vídeo de alta velocidad. Analizamos los datos de movimiento siguiendo las pautas de Payton para grabar un vídeo bidimensional (Payton y Bartlett, 2008). La velocidad máxima de la pelota se observó en la pantalla del radar y se registró después de cada ensayo. Para determinar la exactitud del chute, analizamos las grabaciones de vídeo de cada ensayo. Dependiendo de lo cerca que estuviera la pelota del centro de la diana, se otorgó una puntuación entre 0 y 3 (Figura 4-5). A continuación, se calculó la integración de la velocidad y exactitud del chute considerando la media y la desviación estándar para todas las velocidades (TSCORE) (Tabla 4-2).

**Tabla 4-2. Sistema de puntuación integrado TSCORE en adolescentes.**

Precisión	Velocidad (m.s <sup>-1</sup> )	TSCORE
3	>30.38	9
3	<30.38 – 25.32>	8
3	< 25.32	7
2	>30.38	6
2	<30.38 – 25.32>	5
2	< 25.32	4
1	>30.38	3
1	<30.38 – 25.32>	2
1	< 25.32	1
0		0

#### 4.2.3.5. Análisis estadístico

Realizamos el análisis estadístico utilizando el Paquete Estadístico SPSS para Ciencias Sociales versión 22.0 (SPSS, Inc., Chicago, IL, EE.UU.). Testeamos todas las variables usando la prueba de Shapiro-Wilk para una distribución normal. Los resultados revelaron que los datos tenían una distribución normal. Los datos se expresaron como media  $\pm$  desviación estándar para la condición FEEDBACK y NON FEEDBACK. El coeficiente de variación (CV) como porcentaje se calculó para todas las variables en todos los sujetos para establecer la estabilidad del patrón de movimiento. Promediamos las puntuaciones de rendimiento a través de bloques de 5 ensayos. Para la fase de práctica, se analizaron las puntuaciones a través de un análisis de la varianza en medidas repetidas (ANOVA) de 2 factores intersujetos (tipo de *feedback*: FEEDBACK vs. NON FEEDBACK) y 3 factores intrasujetos (bloque: B1-5, B6-10 o B11-15). Se utilizó una prueba t para muestras independientes para determinar las diferencias medias entre el TSCORE TOTAL entre los grupos FEEDBACK y NON FEEDBACK. Se determinó un nivel de significación de  $p < 0.05$  para todas las pruebas.

Además, se utilizó un enfoque basado en magnitudes de cambio (Hopkins, Marshall, Batterham y Hanin, 2009) para medir la significación estadística. El tamaño del efecto (ES) (d de Cohen) y el intervalo de confianza del 90% de todos los cambios de las variables se calcularon e interpretaron siguiendo el protocolo de Hopkins et al. (2009):  $< 0.2$ : *trivial*; 0.2-0.6: *small*; 0.6-1.2: *moderate* o  $> 1.2$ : *large*. Este tipo de análisis es una herramienta complementaria de los test de hipótesis que reduce los errores de interpretación y hace que los

resultados sean más comprensibles. Además, se consideraron las diferencias prácticas entre condiciones (FEEDBACK/NON FEEDBACK) en la que se basó el *smallest worthwhile change* (SWC) de un ES pequeño ( $ES > 0.2$ ). La probabilidad de que el ES observado fuera mayor que la SWC, es decir, que fuera relevante en la práctica, se calculó basándose en la técnica de Batterham y Hopkins (2006). Las probabilidades de una diferencia significativa se estimaron utilizando una hoja de cálculo (<http://sportsci.org/resource/stats/xcl.xls>) e interpretadas cualitativamente de la siguiente manera:  $<1\%$ , *almost certainly not*;  $<5\%$ , *very unlikely*;  $<25\%$ , *unlikely*;  $25-75\%$ , *possible*;  $>75\%$ , *likely*;  $>95\%$ , *very likely*; y  $>99\%$  *almost certain*. De esta manera, los resultados se expresaron mediante el ES y el porcentaje de probabilidad de que la diferencia observada fuera mayor que un ES pequeño.

### 4.3. Resultados

No se encontraron efectos principales significativos del contraste multivariado entre los bloques en TSCORE, OVERALL TSCORE y *feedback* ( $F_{(2,34)} = 1.01$ ,  $p = 0.37$ ,  $\eta^2_p = 0.56$ ). El análisis univariado intersujetos ( $F_{(1,17)} = 0.30$ ,  $p = 0.58$ ,  $\eta^2_p = 0.02$ ) y el análisis multivariado intrasujetos ( $F_{(1,17)} = 1.01$ ,  $p = 0.14$ ,  $\eta^2_p = 0.12$ ) revelaron efectos principales no significativos. La prueba *t* mostró diferencias principales no significativas  $t(17) = 0.73$ ,  $p < 0.05$  en OVERALL TSCORE y entre los grupos FEEDBACK y NON FEEDBACK. Se midió la esfericidad y homocedasticidad de las varianzas utilizando el test de Mauchly y Levene, respectivamente. Y se asumieron en ambos casos.

Calculamos las inferencias basadas en las magnitudes para determinar las diferencias prácticas entre los grupos FEEDBACK y NON FEEDBACK cuando el ES iba de *trivial* a *small*. Los resultados de la comparación entre grupos (FEEDBACK/NON FEEDBACK) del TSCORE se pueden encontrar en la Tabla 4-3. También aportamos la mejora del resultado usando *feedback* visual en vídeo de alta velocidad y el porcentaje de probabilidad de que el *feedback* fuera *positive/trivial/negative* en cada bloque de intentos y en la OVERALL TSCORE. Como se observa en la Tabla 4-3, la condición FEEDBACK produjo un *small* y *likely* efecto positivo en B1-5 y en la OVERALL TSCORE. En B6-10 y B11-15, no hubo efectos *positive* o *negative*.

**Tabla 4-3. Inferencias de la comparación por grupos (FEEDBACK y NON FEEDBACK) basadas en las magnitudes del tamaño del efecto.**

	ES [90% CI] rango	Diferencia media ±90%CI	Resultados cualitativos
TSCORE B1-5	0,47[-0,32-1,22] small	3,79±6,43	Likely Beneficial
TSCORE B6-10	0,02[-0,73-0,78] trivial	0,12±4,32	Almost certainly Trivial
TSCORE B11-15	0,13[-0,63-0,88] trivial	1,31±8,02	Likely Trivial
OVERALL TSCORE	0,34[-0,44-1,08] small	5,22±12,31	Likely Beneficial

No se encontraron diferencias significativas entre los grupos FEEDBACK y NON FEEDBACK para todas las variables biomecánicas ( $p > 0.05$ ). La media  $\pm$  desviación estándar de las variables por parejas (FEEDBACK vs. NON FEEDBACK) se grafican en la Figura 4-7.

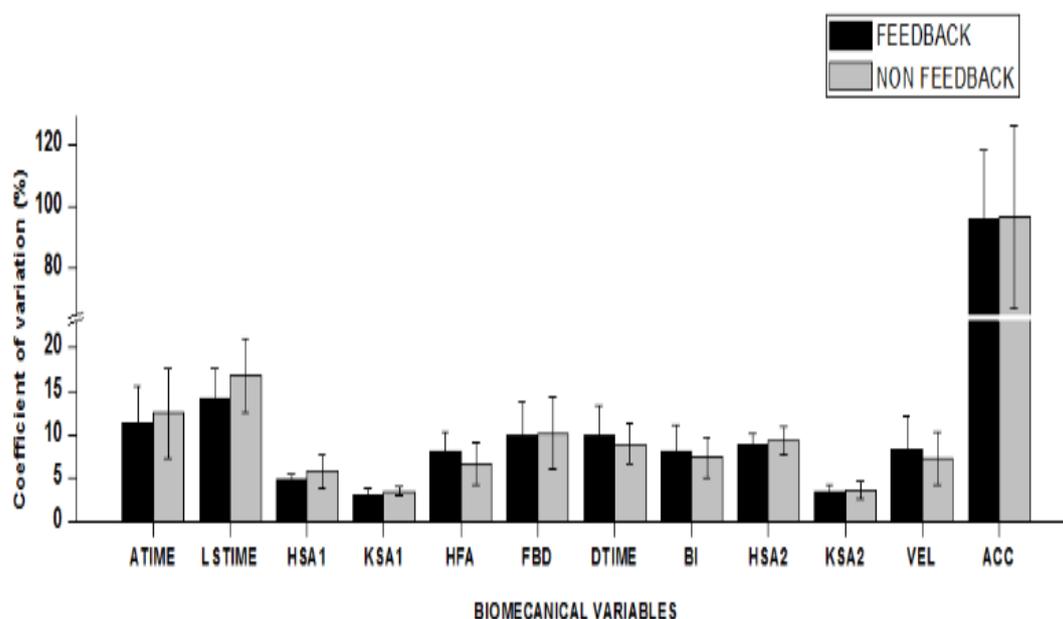


Figura 4-7. Media  $\pm$  desviación estándar de las variables biomecánicas por parejas (FEEDBACK vs. NON FEEDBACK).

Las inferencias basadas en la magnitud del CV para las variables biomecánicas revelaron un efecto *moderate*, dependiendo de la condición del *feedback*, en tres variables: CV\_LSTIME, CV\_HSA1 y CV\_KSA1. El análisis demostró un efecto *small* y *trivial* para el resto de las variables. Los resultados mostraron que el *feedback* visual en vídeo de alta velocidad tenía un efecto considerado como *likely* para la estabilización del movimiento en el grupo FEEDBACK, comparado con el grupo NON FEEDBACK para CV\_HSA1, CV\_KSA1, CV\_LSTIME y CV\_HFA (Tabla 4-4).

Tabla 4-4. Estabilización del movimiento por el efecto del *feedback* visual en vídeo de alta velocidad entre el grupo FEEDBACK y NON FEEDBACK.

Grupos comparados Feedback Vs. Non Feedback	ES [90% CI] rango	Diferencia media $\pm$ 90%CI	Resultados cualitativos
CV_ETIME	-0,23[-0,98-0,53] small	-1,09 $\pm$ 3,73	0,2/40,9/58,8
CV_LSTIME	-0,70[-1,44-0,11] moderate	-2,72 $\pm$ 3,13	2/9,6/88,5
CV_HSA1	-0,64[-1,39-0,16] moderate	-0,92 $\pm$ 1,14	1,8/10,6/87,6
CV_KSA1	-0,78[-1,53-0,04] moderate	-0,46 $\pm$ 0,47	2,2/8,5/89,3
CV_HFA	-0,59[-0,20-1,34] small	1,39 $\pm$ 1,87	1,6/11,7/86,7
CV_FBD	-0,08[-0,83-0,68] trivial	-0,31 $\pm$ 3,20	0/99,1/0,9
CV_DTIME	0,31[-0,46-1,06] small	0,90 $\pm$ 2,32	72,7/26,7/0,5
CV_BI	0,20[-0,57-0,95] small	0,55 $\pm$ 2,19	50/49,9/0,1
CV_HSA2	-0,26[-1,01-0,51] small	-0,35 $\pm$ 1,07	0,3/34,3/65,3
CV_KSA2	-0,30[-0,46-1,0] small	-0,27 $\pm$ 0,73	0,5/28/71,5
CV_VEL	0,31[-1,04-0,48] small	1,06 $\pm$ 2,72	72,7/26,7/0,5
CV_ACC	-0,03[-0,79-0,72] trivial	-1,09 $\pm$ 3,73	0/100/0

*% positive/ % trivial/ % negative*

## 4.4. Discusión

### 4.4.1. Discusión de los resultados

Las cámaras de vídeo de alta velocidad que existen en la actualidad pueden proporcionar un *feedback* extrínseco de mayor calidad, ya que su claridad y velocidad de reproducción permiten tiempos más largos para observar los puntos clave de la autoejecución. Sin embargo, no se ha probado su utilidad. Para tal fin, se quiso observar los efectos agudos del *feedback* visual en vídeo de alta velocidad en la desestabilización del patrón motor y el rendimiento de la habilidad técnica del chute en jugadores de fútbol en edad adolescente.

Los resultados de rendimiento no revelaron efectos principales significativos para el grupo FEEDBACK, en comparación con el grupo NON FEEDBACK en términos de OVERALL TSCORE. Cabe recordar que en nuestro estudio solo investigamos los efectos agudos de una modalidad integrada de *feedback* extrínseco. La no inclusión de test de retención y la menor cantidad de práctica física en este estudio en relación a la de otros diseños (ej., Cassidy et al., 2006; Menickelli, 2004; Rhoads, 2012) puede explicar la falta de diferencias significativas entre los grupos. Sin embargo, cuando se realizó una inferencia basada en la magnitud del cambio (Batterham y Hopkins, 2006), se encontró una *small* variación no trivial. Esta reflejó cambios *small* efectivos en la media del OVERALL TSCORE y la media del TSCORE B1-5 para el grupo FEEDBACK, observándose las variaciones más importantes en

los primeros 5 ensayos del grupo FEEDBACK (puntuación media de  $14.89 \pm 8.80$  puntos), en comparación con el grupo NON FEEDBACK (puntuación media de  $11.10 \pm 7.32$  puntos). Según Hughes y Franks (2015), la experiencia temprana de práctica física parece ser el aspecto más relevante para explicar los efectos de la magnitud de los cambios en el OVERALL TSCORE. La atención dispensada a las fases clave de la habilidad técnica del chute refuerza los descubrimientos. El *feedback* intrínseco, combinado con el *feedback* extrínseco (precisión y velocidad), proporciona múltiples fuentes de información significativas al ejecutante en diferentes momentos de la secuencia de la habilidad motora. Sin embargo, en un momento concreto, la probable falta de atención precisa sobre esta información no contribuye en el OVERALL TSCORE. De acuerdo con Southard (2011), en nuestro caso existe un mayor rendimiento en la condición FEEDBACK (incluyendo *feedback* extrínseco y velocidad). Por lo tanto, evaluar la magnitud de estos cambios en el rendimiento requiere tener en cuenta la naturaleza de la muestra, la cual estaba formada únicamente por jugadores de fútbol experimentados, capaces de interpretar la información crucial recordada en el vídeo de modelado. Hecho que podría explicar el posible efecto *small* del *feedback* visual en vídeo de alta velocidad en la OVERALL TSCORE (Goodale, 2011).

El objetivo secundario de este estudio fue observar los efectos de una reducida cantidad de práctica física sobre la desestabilización del patrón, utilizando el CV de cada sujeto como valor crítico para las variables biomecánicas. En base al experimento, 15 ensayos parecen ser una cantidad insuficiente para provocar diferencias estadísticamente significativas en el patrón de movimiento entre los dos grupos. Destacar que el diseño de este estudio tuvo como objetivo

reflejar la cantidad regular de práctica de este tipo de habilidad técnica en una sesión de entrenamiento. Sin embargo, las inferencias basadas en magnitudes de cambio (Batterham y Hopkins, 2006) se consideraron *moderate* para CV\_LSTIME, CV\_HSA1 y CV\_KSA1. Hecho remarcable, pues la longitud del último paso, junto a los cambios en el patrón motor de esta fase de la habilidad técnica en relación a un mayor grado de retracción pélvica (lo que a su vez permite ampliar la pronación de esta misma zona, es decir, la rotación hacia adelante del lado del cuerpo que impactará con el balón), son aspectos cruciales para obtener la velocidad máxima en el chute de una pelota parada (Lees et al., 2010). Nuestros resultados revelaron que el CV de las variables señaladas asociadas a la pierna de chute justo en el momento del contacto con la pelota, fue menor para el grupo FEEDBACK, en comparación al grupo NON FEEDBACK. Una posible explicación de este hallazgo puede ser la necesidad subyacente del participante de establecer una estrategia de control del patrón motor que combine velocidad y precisión (Lees et al., 2010; Teixeira, 1999). De hecho, el establecimiento de estas estrategias es aún más importante porque la pelota estaba en movimiento y no estática, lo que podríamos considerar una habilidad técnica más difícil. El *feedback* visual en vídeo de alta velocidad proporcionado puede contribuir a ajustar la distancia del último paso y el contacto previo de la pelota. Una vez más, la experiencia previa de los sujetos en la habilidad técnica del chute podría ser relevante en tal ajuste, ya que, según Al-Abood et al. (2001), los sujetos menos experimentados en una determinada habilidad técnica podrían verse limitados por el *feedback* visual en vídeo a cámara lenta, efecto que provoca el vídeo de alta velocidad. En cambio, los jugadores más experimentados, que poseen un conocimiento más completo y un nivel de práctica física y de pericia más alto, pueden encontrar útil este tipo de información para

estabilizar sus patrones de movimiento y lograr mayor precisión y velocidad del chute. Además, esta estabilidad del patrón fue acompañada por un CV\_VEL más alto para el grupo FEEDBACK sin alterar el CV\_ACC, lo que refleja que los sujetos estaban buscando la velocidad óptima para disparar sobre el objetivo, controlando constantemente la dirección del balón. El casi perfecto conocimiento del movimiento y la integración de la distancia en la que el pie de soporte tendría que colocarse en relación con el balón, influyeron en que el CV\_FBD se considerara una variable *trivial* en términos de las inferencias de cambio basadas en la magnitud del efecto. Además, al final de la habilidad técnica, las inferencias de magnitud obtenidas consideraron que el efecto del CV\_DTIME, CV\_BI, CV\_HSA2 y CV\_KSA2 era *small*, al comparar la desestabilización del patrón de movimiento entre los dos grupos. Este hallazgo apoya la idea de que el foco principal en que el intérprete presta atención e intenta estabilizar su acción al recibir *feedback* es la fase de apoyo (Lees et al., 2010).

En conclusión, la naturaleza multimodal del *feedback* presentado en este estudio (vídeo, velocidad y retroalimentación intrínseca, siempre presente) parece ser una integración interesante para alcanzar el objetivo primordial de la mayoría de los deportes de tiro: velocidad y precisión. Aunque no se encontraron diferencias significativas entre los dos grupos en términos de rendimiento o variables biomecánicas, las inferencias de magnitud basadas en ES mostraron un efecto positivo *likely* del *feedback* visual en vídeo de alta velocidad en el TSCORE y la estabilización del patrón en la fase de apoyo. La cantidad de práctica física realizada en el presente estudio reflejó solo los efectos agudos sobre el rendimiento y la estabilización del patrón motor. La capacidad de retención y los efectos de aprendizaje motor a

largo plazo no se contemplaron. Por esa razón, se deben realizar investigaciones adicionales con muestras más grandes y más sesiones de práctica. Además, la retención debería evaluarse en futuros estudios, los cuales deben tener en cuenta a otros participantes, como niños, mujeres y jugadores de élite.

#### **4.4.2. Discusión del método**

La precisión de la habilidad motora compleja y la calidad del movimiento del patrón motor ejecutado dependen del punto focal del aprendiz antes, durante y después de la acción (Wulf, 2007). Wulf et al. (1998) establecieron que focalizar la atención en los movimientos del cuerpo durante la ejecución de una habilidad motora corresponde a un enfoque de atención interno, el cual está directamente relacionado con la capacidad propioceptiva. Se ha demostrado que solo en el caso de vivenciar un correcto enfoque de atención interno es posible mejorar la precisión en los cambios de posición de las articulaciones y crear un patrón de movimiento estable (Ashton-Miller, Wojtys, Huston y Fry-Welch, 2001; Han, Anson, Waddington y Adams, 2014), mientras que focalizarla en los efectos que esta acción tiene en el entorno, corresponde a un enfoque de atención externo (Shea y Wulf, 1999; Zachry, Wulf, Mercer y Bezodis, 2005). Este se asocia a procesos de aprendizaje motor más rápidos, mejorando la retención del movimiento, independientemente de la preferencia del participante en el tipo de enfoque de atención a utilizar (Wulf et al., 2010). Centrarse en el resultado del movimiento realizado, en vez de en el movimiento en sí, puede constituir una ventaja para el aprendiz en la consecución de la habilidad motora compleja eficaz. Las instrucciones proporcionadas por el

instructor y el *feedback* ofrecido al participante están condicionados por el tipo de enfoque de atención elegido, llegando este a ser relevante en la formulación de las informaciones ofrecidas al ejecutante (Shea y Wulf, 1999). De los resultados obtenidos es difícil descifrar en qué focalizaron la atención los participantes (enfoque de atención interno o externo). Durante el test recibieron ambos enfoques de atención mediante una fuente externa (el vídeo y la velocidad de la pelota), junto a la información intrínseca, siempre presente (Liebermann et al., 2002). Es muy probable que la atención de los sujetos se dividiera cuando estaban viendo los vídeos. Esta división podría haber sido facilitada por el tempo de la reproducción del vídeo de alta velocidad, centrándose la primera fase en los puntos internos de la ejecución y la segunda en el resultado de esta (precisión y velocidad). Por lo tanto, la observación del vídeo de alta velocidad podría haber influido en la representación mental del movimiento, facilitado por la edición, el mantenimiento y el tiempo de exposición de este (Holmes y Calmels, 2008). Características que podrían haber mejorado la experiencia de *feedback*, reforzando el enfoque de atención externo, el cual ha sido demostrado más eficaz en las habilidades técnicas de precisión (Tod, Marchant y Andersen, 2007; Wulf et al., 2002; Wulf et al., 2010; Zachry et al., 2005). Aunque también una de las posibles consecuencias de tal cantidad de información pudo haber sido la interrupción del desempeño agudo de la habilidad técnica (Guadagnoli et al., 2002), ya que en este estudio encontramos un rápido, pero no estadísticamente significativo, aumento del rendimiento entre los sujetos del grupo FEEDBACK. Todos estos argumentos nos llevan a plantearnos la relevancia en los resultados obtenidos de la cámara de vídeo para dar *feedback*. En el Estudio 1 hemos elegido la C2, la cual ofrecía *feedback* visual en vídeo de alta velocidad desde una vista sagital. Esta se centraba en el ejecutor, mostrando el movimiento completo sin

visualizar el objetivo final del lanzamiento. Este aspecto, aun mostrándose el vídeo a través de *feedback* extrínseco, puede asociarse a un enfoque de atención interno. Por ese motivo, en el Estudio 2 utilizaremos otra vista que muestre la totalidad de la habilidad técnica, potenciando con ello el enfoque de atención externo del vídeo de alta velocidad. Al mismo tiempo, compararemos su efecto con el producido por el *feedback* visual en vídeo a velocidad real. Tal variable nos dará más argumentos para decidir qué tipo de *feedback* suministrar en función de la edad.

Sin centrarse en el *feedback* visual en vídeo, pero comparando los diferentes enfoques de atención presentados con anterioridad, Wulf, McConnel, Gärtner y Schwarz (2002) estudiaron la influencia del *feedback* en el desempeño de la habilidad técnica del pase en jugadores de fútbol. Los jugadores se dividieron en cuatro grupos que recibieron diferentes tipos de *feedback* (con enfoque de atención externo o interno y con una frecuencia de 100% o 33% después de cada repetición). A cada participante se le decía su puntuación y se le daba un *feedback* específico dirigido a mejorar su ejecución. Después de realizar 30 intentos de práctica física, los jugadores regresaron una semana más tarde para una prueba de retención de 10 ensayos. Los resultados de la prueba revelaron que los dos grupos que recibieron *feedback* de enfoque de atención externo obtuvieron mayor precisión que los grupos que habían recibido *feedback* de enfoque de atención interno. Además, el grupo que había recibido menos porcentaje de *feedback*, exhibió mejores resultados que el otro grupo. Siguiendo la línea expuesta en la argumentación anterior, si optamos por modificar la cámara de vídeo para dar *feedback* [para asegurarnos de proporcionarlo mediante un enfoque de atención externo,

atendiendo a lo expuesto por Wulf et al. (2002)], hemos de variar también la cantidad de *feedback* ofrecido para mejorar el aprendizaje motor. En el Estudio 1 los participantes recibieron *feedback* visual en vídeo de alta velocidad después de cada ensayo; por ese motivo en el Estudio 2 se reducirá esta cantidad con el fin de alinearse con el descubrimiento mostrado.

El análisis de vídeo cuantitativo puede ser bidimensional o tridimensional. El primer enfoque es mucho más simple que el segundo, pero supone que el movimiento que se analiza se confina en un solo plano predefinido: el plano de movimiento. Cualquier medida de movimientos tomada fuera de este plano estará sujeta a un error de perspectiva, reduciendo así su precisión (Payton y Bartlett, 2007). El análisis cuantitativo de la técnica permite definir los aspectos específicos de esta. Así, las variables biomecánicas de análisis seleccionadas deben ser acordes al movimiento e importantes para este (Lees, 2002). La selección de las variables biomecánicas en el experimento del Estudio 1 se fundamentó en la perspectiva del entrenador. Esto pudo suponer la inclusión de variables inexactas. Con afán de incrementar la precisión de la investigación siguiente, las referencias biomecánicas determinadas en el Estudio 1 serán revisadas para ser más estables en el Estudio 2.

# **CAPÍTULO 5. EFECTOS SOBRE EL APRENDIZAJE MOTOR DEL *FEEDBACK* VISUAL EN VÍDEO Y DE LA VELOCIDAD EN LA DESESTABILIZACIÓN DEL PATRÓN MOTOR Y EL RENDIMIENTO DEL CHUTE EN JUGADORES DE FÚTBOL U10**

## **5.1. Introducción**

Utilizar el *feedback* extrínseco es una de las estrategias más útiles para aprender y adquirir una habilidad motora. Centrarse en el resultado pretendido al realizarla permite al aprendiz desarrollar una mejor comprensión de dónde deben hacerse los ajustes. Este hecho puede constituir una ventaja para el alumno, ya que el movimiento resultante suele ser mucho más eficaz (ej., precisión y equilibrio) y eficiente (ej., actividad muscular, consumo de oxígeno y frecuencia cardíaca). Además, el tipo de enfoque de atención escogido y su modalidad de entrada sensorial influyen mucho en el *feedback* que, finalmente, se proporciona al participante (Shea y Wulf, 1999; Sigrist et al., 2013).

La visión es la principal modalidad sensorial utilizada en el aprendizaje motor. Riemann y Lephart (2002) remarcan que el sistema visual facilita la ejecución de los ajustes necesarios de los movimientos de las extremidades y de las posiciones articulares para que el ser humano se adapte a un objeto o al suelo, utilizando estrategias tan variadas como la observación, la imitación y la demostración. Es sabido que el aprendizaje observacional mejora la capacidad perceptiva del aprendiz: mayor precisión en la discriminación del movimiento (Lago, Lopez y Fernández del Olmo, 2013); y que la observación de un modelo facilita la adquisición global de la habilidad motora (Horn, Williams y Scott, 2002). En los seres humanos, la frecuencia visual más alta que se puede seguir es de 16 Hz, o un periodo de 0.06 s, lo que significa que las acciones más rápidas no se pueden procesar con precisión (Winter, 2005). Al mismo tiempo, varios estudios realizados con deportistas han demostrado que los diferentes tipos de *feedback* visual existentes tienen más impacto en el aprendizaje motor que otras modalidades de *feedback*, como el verbal, el táctil o el auditivo (Boyer et al., 2009; Guadagnoli et al., 2002; Menickelli, 2004; Rhoads, 2012). Sin embargo, cabe mencionar que el efecto del *feedback* sobre el desempeño no siempre es positivo, siendo en ocasiones negativo (Guadagnoli et al., 2002; Ste-Marie et al., 2013). Asimismo, el proceso de aprendizaje y los efectos del *feedback* en él, dependen de la complejidad de la habilidad y de las experiencias previas del aprendiz (Wulf y Shea, 2002).

La falta de experiencia hace que los niños necesiten más tiempo de aprendizaje motor y un reajuste constante del *feedback* proporcionado (Sullivan, Kantak y Burtner, 2008). De hecho, en las habilidades que requieren transformación visomotora, los niños suelen cometer más

errores y mostrar más variabilidad en su rendimiento (Bo, Contreras-Vidal, Kagerer y Clark, 2006). Esto es debido a que estos presentan una capacidad reducida para controlar su enfoque de atención, siendo más sensibles a cualquier interferencia que distraiga. Prestan menos atención a los estímulos, no responden eficientemente a las demandas de las tareas y sus estrategias resultan menos sofisticadas en habilidades motoras complejas (Wendelken, Baym, Gazzaley y Bunge, 2011). Por todas estas razones, en el caso de los niños, no están claros los efectos del *feedback* extrínseco utilizando diferentes modalidades de automodelado en vídeo.

En el fútbol, uno de los procesos de aprendizaje más relevantes es la adquisición de la habilidad técnica del chute, una habilidad motora compleja decisiva (Lees et al., 2010). Es una habilidad técnica que involucra niveles variados de coordinación, dependientes mayoritariamente de la velocidad, el origen y el destino final de la pelota (Katis et al., 2013). La mayoría de los estudios se han centrado en la motricidad del lanzamiento de penalti. Este tipo de chute parte de una situación estática y permite alcanzar altas velocidades de la pelota. El análisis exhaustivo de la habilidad completa requiere de la observación de seis componentes: la aproximación, la pierna de apoyo y la pelvis, la pierna de impacto, la parte superior del cuerpo, la interacción de la pelota con el pie y el vuelo final de esta (Lees et al., 2010; Lees y Nolan, 1998). La precisión y la velocidad alcanzada son los dos factores clave que modulan su rendimiento (Katis et al., 2013; Lees et al., 2010), teniendo un impacto la primera sobre la segunda y viceversa (Teixeira, 1999). Por lo tanto, para mejorar los procesos de estabilización y aprendizaje para un buen desempeño es esencial realizar mejoras en ambos aspectos y en todos los componentes antes mencionados (Lees y Nolan, 1998; Teixeira, 1999). El tipo de

enfoque de atención del aprendiz antes, durante y después de la habilidad repercute en este proceso (Wulf, 2007). Por nuestro conocimiento, pocas investigaciones han analizado la habilidad técnica del chute utilizando *feedback* visual a través de un enfoque de atención externo; sin embargo, algunos estudios sí que se han centrado en el efecto del *feedback* extrínseco en la precisión de la habilidad de lanzamiento (Chiviawowsky, De Medeiros, Kaefer, Wally y Wulf, 2008; Wulf, Chiviawowsky y Drews, 2015; Wulf et al., 2010), pero sin utilizar retroalimentación visual.

Varios estudios han investigado los efectos de diferentes modalidades de *feedback* visual en vídeo sobre la estabilización y precisión de una habilidad motora compleja, con diferentes resultados prometedores. Williams (1989) demostró que el modelado de vídeo a cámara lenta ayudó a la adquisición de la sincronización correcta de un movimiento de lanzamiento manual y afirmó que la cámara lenta realzó la captación de información cinemática, enfatizando el patrón de movimiento. Sin embargo, el autor indicó que esta también tiende a distorsionar la información cinética, exagerando los componentes de tiempo absoluto de las imágenes visuales. Al-Abood et al. (2001) estudiaron el efecto del *feedback* visual en vídeo a velocidad real y a cámara lenta sobre la estabilización del patrón de movimiento de una tarea de lanzamiento de dardos desconocida por los ejecutores. Estos encontraron que el *feedback* visual en vídeo a velocidad real logró una mayor precisión, ya que, según ellos, el grupo de *feedback* visual en vídeo a cámara lenta percibió la información del movimiento alterada. Este elemento, probablemente, hizo que los participantes del primer grupo se aproximaran más en la relación temporal y espacial del movimiento del modelo que los del

grupo a cámara lenta. Sin embargo, algunos años antes, Scully y Carnegie (1998) encontraron que la observación de demostraciones de este tipo, en comparación con las demostraciones a velocidad real, facilitaron levemente la captación y replicación de la coordinación de la habilidad motora empleada. Eso sí, la comparativa fue respecto a un modelo y no sobre la autoejecución. Por su parte, Ford, Hodges y Williams (2007) demostraron que un grupo de jugadores de fútbol altamente calificados, utilizando como *feedback* visual en vídeo los resultados obtenidos en un test en el cual se realizaban una serie de chutes sobre una pared que posteriormente debían ir a parar a la diana objetivo, situada en el suelo, mejoraron su rendimiento posterior. Más recientemente, Teeling (2016) analizó una habilidad técnica en fútbol compuesta por la ejecución de un regate más un chute hacia una diana establecida previamente. El autor comparó la precisión de la tarea en jugadoras expertas y no expertas, proporcionando *feedback* visual en vídeo a cámara lenta y a velocidad real. Los resultados mostraron que los grupos a velocidad real se comportaron ligeramente mejor que los grupos a cámara lenta, aunque no se observó ningún efecto principal significativo.

Exceptuando a Teeling (2016), existe poca información de los beneficios reales del uso de cámaras de vídeo para aportar *feedback* visual en vídeo a cámara lenta, herramientas que se están utilizando ampliamente en los deportes y en el aprendizaje motor. Esta tecnología está actualmente disponible para los profesores y entrenadores deportivos en diferentes entornos de aprendizaje y proporciona una experiencia de *feedback* enriquecida. Por consiguiente, el objetivo de este estudio fue analizar los efectos agudos del *feedback* visual en vídeo de alta velocidad a cámara lenta y del *feedback* visual en vídeo a velocidad real, junto a la aportación

del rendimiento obtenido a través del *feedback* extrínseco de la velocidad del chute, aportada mediante un radar, en niños menores de 10 años. Planteamos la hipótesis de que los jugadores que recibieran *feedback* visual en vídeo de alta velocidad mejorarían la precisión y la velocidad de la habilidad motora compleja durante la fase práctica y de retención. También investigamos los efectos agudos del *feedback* visual en vídeo de alta velocidad y a velocidad real sobre la estabilización del patrón de movimiento (ángulos de las extremidades y tiempos de ejecución de los diferentes periodos del movimiento), estableciendo como hipótesis nuevamente que los sujetos que recibieran el *feedback* a cámara lenta estabilizarían mejor su movimiento durante los periodos del chute.

## 5.2. Material y método

### 5.2.1. Sujetos

36 niños varones con una edad media de  $8.9 \pm 0.8$  años (altura:  $1.33 \pm 0.06$  m, peso:  $28.2 \pm 3.2$  kg, longitud de la pierna:  $0.73 \pm 0.04$  m) fueron reclutados voluntariamente de una escuela de fútbol para participar en el estudio, pero solo 30 participantes terminaron la prueba. Los resultados de 6 participantes fueron eliminados porque no completaron todos los ensayos durante las fases de práctica y retención, retirándose del análisis. Todos los participantes eran diestros, físicamente activos en el fútbol (participando en 2-3 sesiones de entrenamiento por semana), y estaban libres de lesiones. Los participantes no tenían ninguna experiencia previa

con la tarea experimental, pero sí con la habilidad técnica del chute y el *feedback* visual en vídeo. No eran conscientes del propósito del estudio. El estudio se realizó con el consentimiento informado de los padres y siguiendo todas las directrices para la investigación experimental con seres humanos. El Comité de Ética de la Universitat Ramon Llull de Barcelona aprobó el desarrollo de este estudio, que se realizó de acuerdo con la última versión de la Declaración de Helsinki.

### **5.2.2. Aspectos éticos**

El estudio cumplió todas las propuestas validadas y presentadas por el Comité de Ética de la Universitat Ramon Llull.

### **5.2.3. Procedimiento**

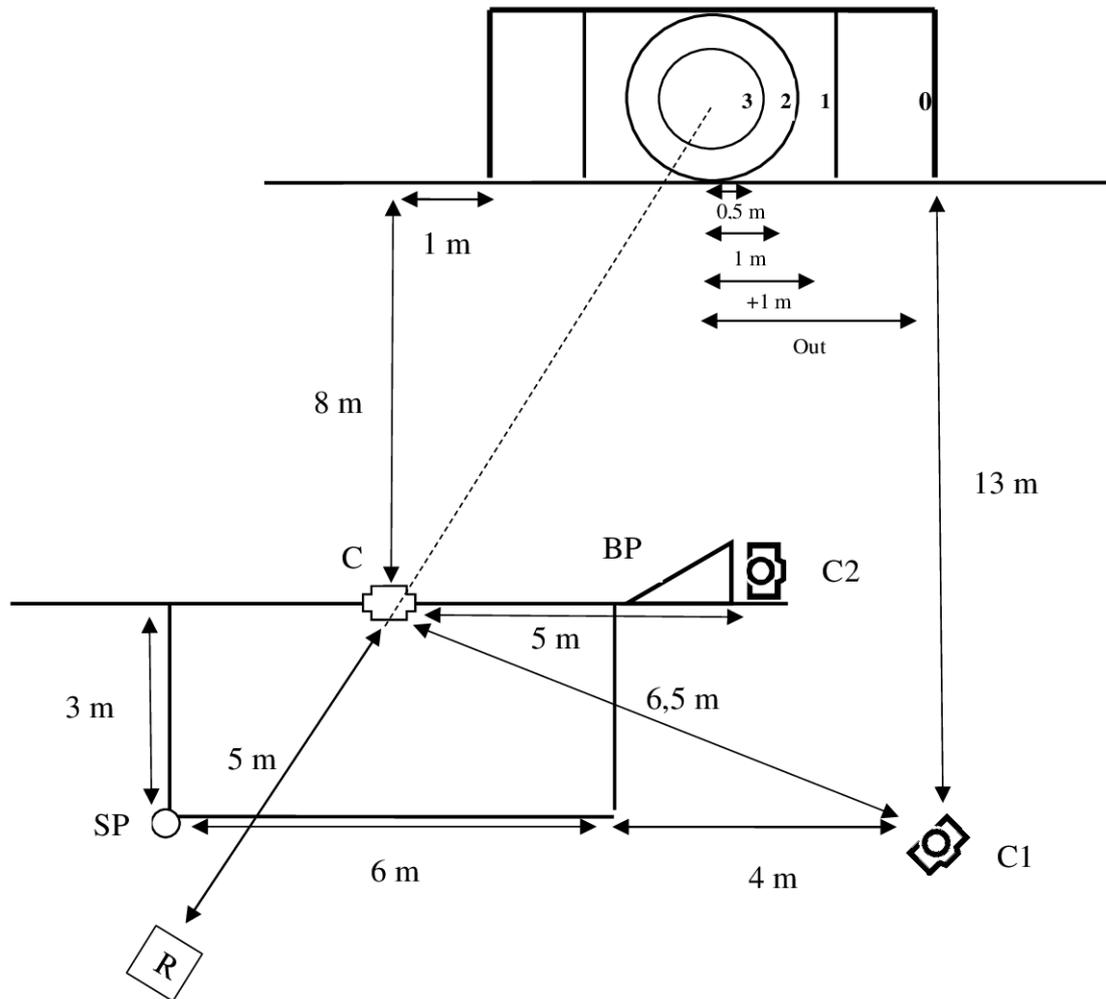
#### **5.2.3.1. Instrumentos**

La estructura de la tarea del Estudio 2 y su protocolo sufrieron una serie de modificaciones respecto al Estudio 1 (especificadas en el punto 5.2.3.2 y 5.2.3.3), adaptándola a la nueva muestra. Para poder realizarlo se requirieron dos cámaras de vídeo de alta velocidad Casio® EXILIM EX F1, las cuales cumplieron las mismas funciones: grabar la acción, analizarla y dotar de *feedback* visual en vídeo a los participantes. Se utilizó un Radar Stalker®

para conocer la velocidad de desplazamiento del balón. Este se modificó, pasando a ser un balón de fútbol oficial de tamaño 4 a una presión de 0.6 atm, según reglamento. Se mantuvo el uso de la lona de 6 m<sup>2</sup> para delimitar las aéreas de precisión de la portería y la rampa calibrada para lanzar los balones. El programa de edición de vídeo Kinovea (versión 0.8.24.) sirvió también para el análisis de las imágenes filmadas.

### **5.2.3.2. Tarea y configuración**

Los participantes debían realizar una carrera de aproximación hacia un balón de fútbol de tamaño 4 (0.6 atmósferas de presión) para chutarlo con su pie dominante y dirigirlo con la mayor rapidez y precisión posible hacia un objetivo vertical situado a una distancia de 9 m. Como se muestra en la Figura 5-1, el blanco estaba situado sobre una lona (3 × 2 m) y consistía en una diana con un radio de 0.5 m. El centro de esta se encontraba a 1 m del suelo y a 1.5 m del borde de la lona. Esta fue colgada en una portería (6 × 2 m), frente a la cual se marcó una cruz en el suelo para especificar la ubicación desde la que los participantes debían chutar la pelota. Esta cruz estaba situada en el centro del borde de la zona de tiro (6 × 3 m) más próximo al blanco. La esquina izquierda de esta área se estableció como el punto de partida. El dispositivo de proyección de la pelota estaba situado junto a la esquina del área de tiro, frente al punto de partida, a 3 m de la cruz. El dispositivo lanzaba los balones a una velocidad aproximada de 2 m/s.



**Figura 5-1.** Esquema gráfico de la configuración del test del Estudio 2. *C = Cruz en el suelo; SP = Punto de partida; BP = Dispositivo de proyección de bolas; C1 = Cámara vista oblicua; C2 = Cámara vista sagital; R = Radar.*

Dos cámaras de vídeo de alta velocidad (modelo Casio® EXILIM EX F1, Casio Inc., Tokio, Japón) registraron todos los lanzamientos. Ambas cámaras fueron montadas en un trípode, dejando su lente a 1.15 m sobre el suelo. Una filmó toda la escena desde la vista oblicua y la otra registró la habilidad desde una perspectiva sagital. La velocidad de la pelota se registró utilizando un radar (Stalker Pro, Radar Sales Inc., Minneapolis, MN, EE.UU.) con una precisión

de 0.04 ms<sup>-1</sup>, un rango de velocidad de 0.44-134.11 ms<sup>-1</sup> y un muestreo de 0.01 s. El radar estaba conectado a una computadora portátil. La pistola del radar se colocó 5 m detrás del punto de impacto a una altura de 1.5 m para asegurar la exactitud de la grabación. El radar estaba alineado con la posición del participante y la dirección del objetivo para garantizar un error máximo de menos de 10 grados (1.5% de error).

### 5.2.3.3. Descripción

Los participantes fueron asignados aleatoriamente a uno de los tres grupos siguientes: niños con *feedback* visual en vídeo de alta velocidad a cámara lenta (SMVF) después de cada bloque (n = 11), niños con *feedback* visual en vídeo a velocidad real (NVF) después de cada bloque (n = 9) y niños sin *feedback* (NF) (n = 10). Todos los grupos recibieron las mismas instrucciones básicas sobre el procedimiento de la prueba antes de empezar. Estas fueron las mismas descritas en el punto 4.2.3.3 e incluyeron una demostración de modelado de vídeo de los periodos del chute, subdivididos en fases, realizados por un experto y basadas en Lees et al. (2010) y Lees y Nolan (1998): a) el periodo de aproximación; b) el periodo de apoyo; c) el periodo de interacción del pie con la pelota, y d) el periodo de vuelo del balón. Los periodos mencionados fueron utilizados para el análisis. Al igual que en el Estudio 1, fueron fraccionados en siete fases identificables para el participante, que sirvieron para elaborar el modelaje de vídeo que se administró; duraba 30 s y fue visto dos veces (Figura 4-6). A continuación, los participantes realizaron un pretest de 5 ensayos. Esto fue seguido por la fase práctica, que consistió en 20 lanzamientos (4 bloques de 5 chutes) (B1, B2, B3 y B4, respectivamente) con

un periodo de descanso de 30 s entre cada ensayo y 3 min entre bloques. Después de cada bloque, los participantes en el grupo SMVF recibieron el *feedback* visual en vídeo de alta velocidad a cámara lenta de su ejecución desde C1 y el *feedback* de la velocidad obtenida del radar. El grupo NVF siguió el mismo procedimiento, pero se les suministró *feedback* visual en vídeo a velocidad real. Los participantes del grupo SMVF observaron el vídeo reproducido a 240 fps (tiempo total de observación de 60 s por 5 lanzamientos) después de cada bloque, mientras que los participantes del grupo NVF observaron el vídeo reproducido a 30 fps (tiempo total de 25 s por el mismo número de lanzamientos). El grupo NF no recibió ningún tipo de retroalimentación. 48 h más tarde, los participantes realizaron una prueba de retención consistente en 10 ensayos. No se proporcionaron instrucciones ni comentarios durante la prueba de retención.

#### **5.2.3.4. Análisis de los datos**

Todo el análisis de vídeo se realizó con la versión 0.8.24. Kinovea (Creative Commons 3.0). Los participantes llevaban ropa ceñida. Las crestas ilíacas, el punto medio del pubis (sínfisis púbica), el maléolo lateral y medio y el epicóndilo lateral de la rodilla se marcaron con cinta adhesiva (3 x 3 cm). Para obtener los puntos anatómicos y los ángulos articulares objetivos en cada periodo, se dibujó un triángulo de referencia para localizar las caderas y el centro de gravedad (CoM) (Lee et al., 2000). Las partes superiores-laterales superficiales de ambas crestas ilíacas y el punto medio del pubis formaban el triángulo. Las dos articulaciones de la cadera se marcaron en el punto medio de las líneas que unían cada cresta ilíaca al pubis, y el

CoM se señaló en el medio de la línea que unía ambos puntos ilíacos. Las variables que fueron analizadas en los distintos periodos del chute fueron las siguientes: del periodo de aproximación, el ATIME, y el LSTIME. Desde este último punto, dentro del periodo de apoyo, el ángulo de la cadera formado por la línea longitudinal del fémur y la proyección de la línea ilíaca (HA1), el ángulo de la rodilla formado por la proyección de la línea longitudinal del fémur y la línea longitudinal de la tibia (KA1) y el ángulo del tobillo compuesto por la proyección de la línea perpendicular a la tibia y la línea longitudinal del pie (AA1). Dentro de este también contemplamos el DTIME. También se realizaron estas tres mediciones en el siguiente periodo, el de interacción, y fueron denominados HA2, KA2 y AA2. Al final del punto DTIME tomamos una medida adicional, el ángulo de soporte constituido por la proyección vertical del CoM y la línea formada por la unión de esta misma variable y el punto de contacto del pie de soporte (SA). Las variables que analizamos durante el periodo de vuelo de la pelota incluyeron VEL y ACC, pero fueron integradas como TSCORE (Tabla 5-1). Se analizaron los ángulos sagitales y tiempos (HA1, KA1, AA1, HA2, KA2, AA2, SA, ATIME, LSTIME, DTIME) desde C2. La C1 se utilizó para proporcionar *feedback*. Los datos de movimiento se analizaron siguiendo las directrices de Payton para grabaciones bidimensionales de vídeo (Payton, 2008). Dos observadores diferentes fueron entrenados sobre 20 lanzamientos. Calculamos la fiabilidad intra e interobservador. La fiabilidad intraobservador del coeficiente de correlación intraclases (ICC) osciló entre 0.971 y 0.986 y la fiabilidad interobservador ICC osciló entre 0.962 y 0.983 ( $p < 0.001$ ) para todas las variables. La velocidad máxima de la pelota se observó en la pantalla del radar y se registró después de cada ensayo. Para determinar la precisión del lanzamiento, se analizaron las grabaciones de vídeo de cada ensayo. Dependiendo de lo cerca que estuviera la

pelota del centro del blanco, se le otorgó una puntuación entre 0 y 3 (Figura 5-1). A continuación, se calculó el TSCORE haciendo una integración de la VEL y la ACC de la pelota, considerando la media y la desviación estándar para todas las velocidades (Tabla 5-1).

**Tabla 5-1. Sistema de puntuación integrado TSCORE en niños.**

Precisión	Velocidad (m.s <sup>-1</sup> )	TSCORE
3	>20.39	9
3	<20.39 – 15.47>	8
3	< 15.47	7
2	>20.39	6
2	<20.39 – 15.47>	5
2	< 15.47	4
1	>20.39	3
1	<20.39 – 15.47>	2
1	< 15.47	1
0		0

### 5.2.3.5. Análisis estadístico

Todos los cálculos se realizaron con el *software* estadístico SPSS v.22 (SPSS Inc., Chicago, IL, EE. UU.), y el nivel de significación se estableció en  $p < 0.05$ . La normalidad de

los datos se confirmó antes del análisis inferencial a través de una prueba de Shapiro-Wilk. Los datos fueron expresados como media  $\pm$  desviación estándar para la condición SMVF, NVF y NF. El CV como porcentaje se calculó para todas las variables biomecánicas en todos los sujetos para establecer la estabilidad del patrón de movimiento. También realizamos el promedio de las puntuaciones de rendimiento en bloques de ensayos. Aplicamos una ANOVA de 4 (bloque: bloques de 5 ensayos)  $\times$  3 (grupo: SMVF, NVF y NF) con medidas repetidas en el factor bloque para evaluar los efectos del bloque en el proceso de aprendizaje motor y del tipo de *feedback* en el TSCORE. Los datos de retención se analizaron mediante un ANOVA de un factor de 3 (grupo: SMVF, NVF y NF). Para evaluar la desestabilización del patrón de movimiento (variables biomecánicas) a través de los diferentes grupos de ensayos se aplicó un análisis multivariante de la varianza (MANOVA) de 6 (bloques de ensayos: Pre, Bloque 1, 2, 3 y 4, Retención)  $\times$  3 (grupo: SMVF, NVF o NF). El monitoreo de contrastes multivariantes se realizó a través de un análisis univariado. Para determinar estos contrastes, realizamos un análisis *post-hoc*, utilizando el ajuste de Bonferroni.

## 5.3. Resultados

### 5.3.1. Rendimiento del chute

ANOVA mostró que no hubo un efecto principal significativo del grupo ( $F_{(1,27)} = 1.92$ ,  $p > 0.05$ ,  $\eta^2_p = 0.125$ ). Tampoco lo fue la interacción grupo  $\times$  bloque ( $F_{(4,27)} = 1.44$ ,  $p > 0.05$ ,  $\eta^2_p$

= 0.194) sobre el rendimiento (TSCORE) (Figura 5-2). No se encontraron diferencias significativas entre SMVF y NVF o entre NVF y NF en la fase de retención ( $F_{(1,27)} = 1.97$ ,  $p > 0.05$ ,  $\eta^2_p = 0.112$ ).

Aunque las diferencias no fueron significativas, se pudieron observar diferentes tendencias de rendimiento a través de los bloques de ensayos y también en la fase de retención entre los grupos.

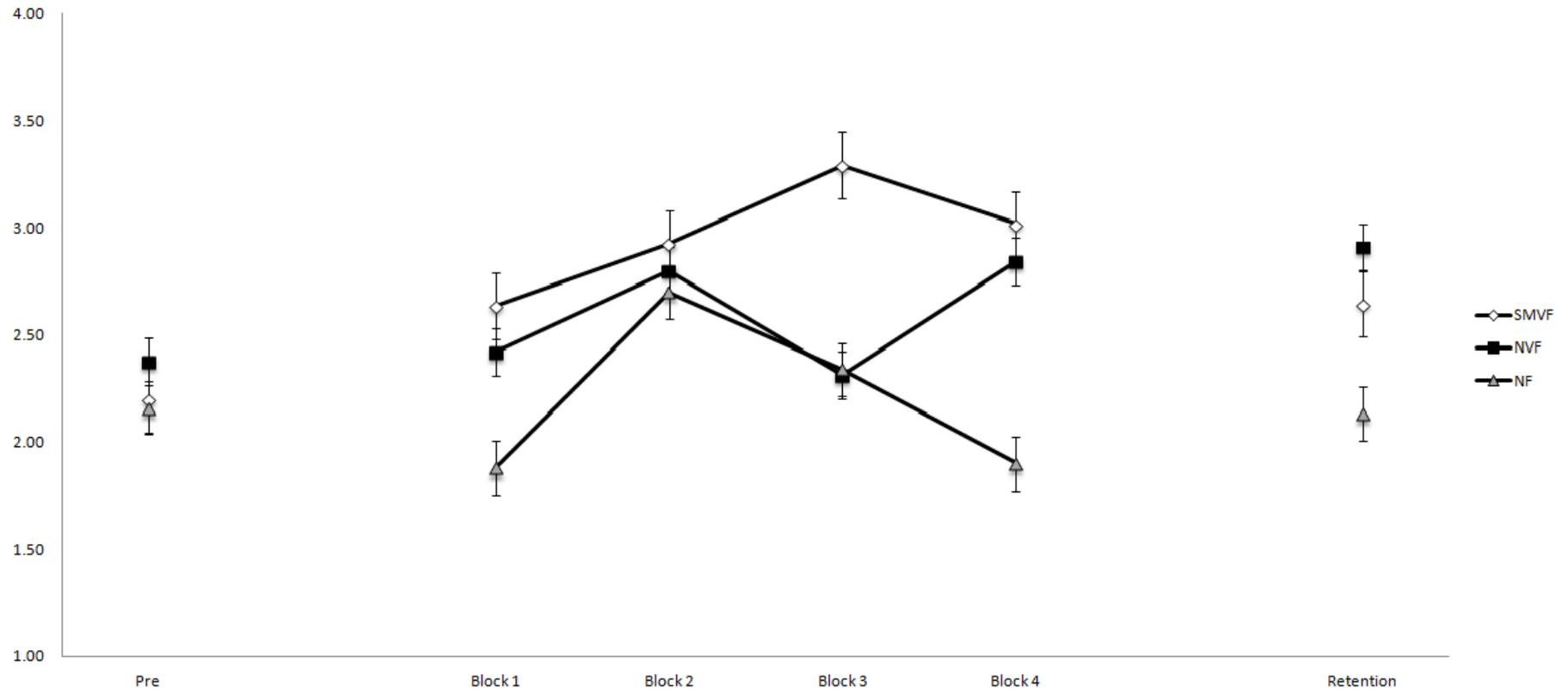
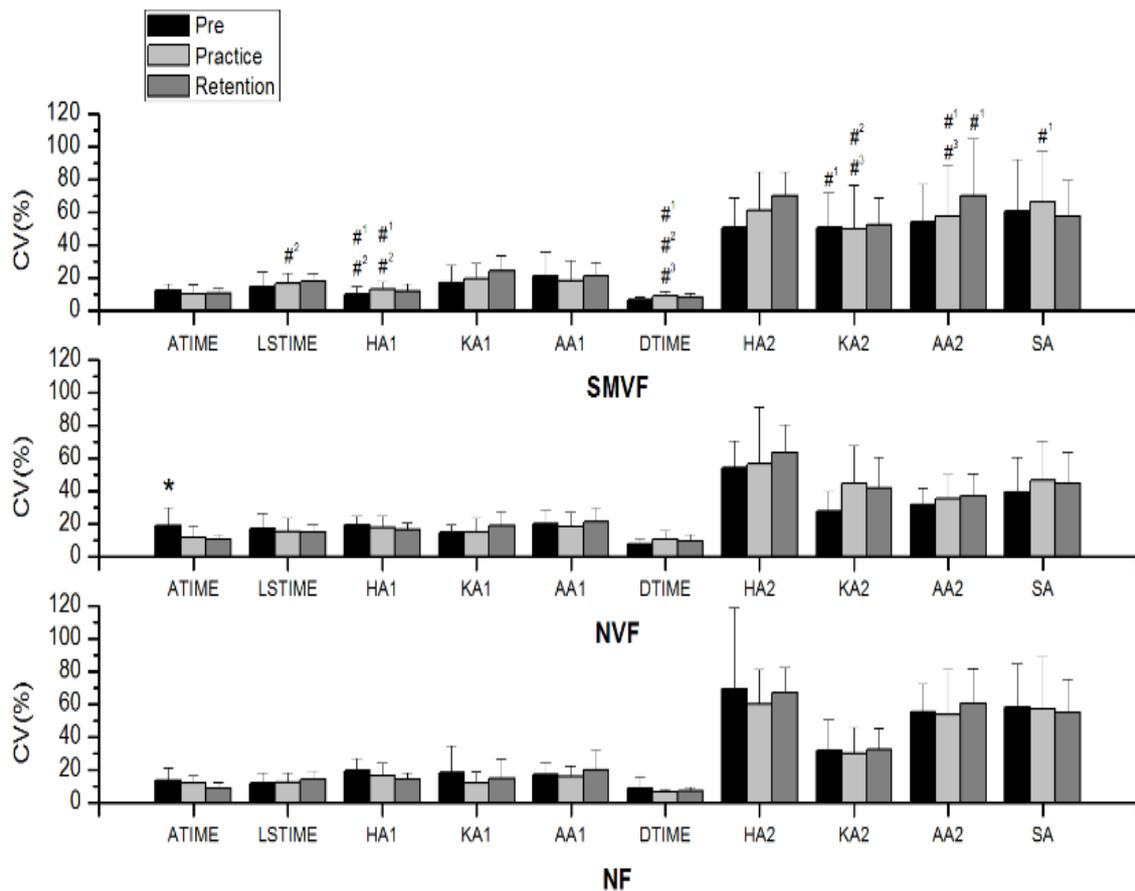


Figura 5-2. Media TSCORE para los grupos SMVF, NVF y NF. Las barras de errores representan errores estándar.

### 5.3.2. Desestabilización del movimiento

MANOVA demostró que hubo un efecto principal significativo del grupo ( $F_{(2,153)} = 9.69, p = 0.001, \eta^2_p = 0.44$ ) y del bloque ( $F_{(5,153)} = 1.10, p = 0.02, \eta^2_p = 0.10$ ). No encontramos un efecto de interacción grupo x bloque. El análisis univariado mostró un efecto significativo del grupo sobre LSTIME ( $F_{(2,153)} = 5.05, p=0.008, \eta^2_p = 0.06$ ), HA1 ( $F_{(2,153)} = 12.65, p=0.000, \eta^2_p = 0.14$ ), KA1 ( $F_{(2,153)} = 6.64, P=0.002, \eta^2_p = 0.08$ ), DTIME ( $F_{(2,153)} = 15.26, p=0.000, \eta^2_p = 0.16$ ), KA2 ( $F_{(2,153)} = 12.51, p=0.008, \eta^2_p = 0.14$ ), AA2 ( $F_{(2,153)} = 14.99, p=0,000, \eta^2_p = 0.16$ ) y SA ( $F_{(2,153)} = 6.80, p=0.001, \eta^2_p = 0.08$ ). Por otra parte, se encontró un efecto significativo para el bloque solo en ATIME ( $F_{(2,153)} = 6.80, p=0.001, \eta^2_p = 0.08$ ), pero no se encontró una interacción significativa entre el grupo y el bloque (Figura 5-3).



**Figura 5-3. CV medio de las variables biomecánicas. *ATIME* = Tiempo de aproximación; *LSTIME* = Tiempo del último paso; *HA1* = Ángulo de la cadera 1; *KA1* = Ángulo de la rodilla 1; *AA1* = Ángulo del tobillo 1; *DTIME* = Tiempo de descenso; *HA2* = Ángulo de la cadera 2; *KA2* = Ángulo de la rodilla 2; *AA2* = Ángulo del tobillo 2; *SA* = Ángulo de soporte. Las barras de error representan errores estándar.**

**# 1 Diferencias significativas entre SMVF y NVF ( $p < 0.05$ )**

**# 2 Diferencias significativas entre SMVF y NF ( $p < 0.05$ )**

**# 3 Diferencias significativas entre NVF y NF ( $p < 0.05$ )**

**\* Diferencias significativas entre las fases *Practice* y *Retention* ( $p < 0.05$ )**

## 5.4. Discusión

### 5.4.1. Discusión de los resultados

Hoy en día las cámaras de vídeo de alta velocidad proporcionan una mayor calidad de *feedback*, ya que su claridad y velocidad de reproducción permiten tiempos más largos para observar los puntos clave de la ejecución. Por este motivo investigamos los efectos agudos y de retención del *feedback* visual en vídeo a velocidad real y del *feedback* visual en vídeo a cámara lenta en vídeos de alta velocidad junto al *feedback* de la velocidad de desplazamiento de la pelota, valorando el rendimiento obtenido y la desestabilización del patrón motor en niños. Comparamos el TSCORE, en términos de ACC y VEL de la pelota, y el CV del patrón de movimiento en una serie de lanzamientos dinámicos de fútbol en tres grupos diferentes. El método propuesto podría constituir una valiosa perspectiva que permita la evaluación de los dos factores principales (ACC y VEL) para realizar un chute con éxito, pudiendo también ser útil en otras tareas de precisión.

Los resultados de rendimiento no revelaron efectos significativos para el factor grupo en la fase práctica en los cuatro bloques de ensayos, mientras que los tres grupos mejoraron su rendimiento en la fase práctica. La diferencia más importante se encontró entre SMVF y NF. En consonancia con otros estudios de *feedback* (Wulf y Adams, 2014; Wulf et al., 2015; Wulf, Chiviacosky et al., 2010), se encontró una mejora después del primer bloque de la fase

práctica para los tres grupos, aunque los otros estudios utilizaron otras modalidades de retroalimentación. Mientras que la tendencia a mejorar el rendimiento en los siguientes bloques de ensayos es clara, pero no significativa, para el grupo SMVF, no fue así para los otros dos grupos (NVF y NF). En contraste con Wulf et al. (2002), quienes encontraron beneficios agudos en la precisión ejecutando golpes técnicos de fútbol a ras de suelo en la fase de retención, en el presente estudio encontramos mejoras pero no diferencias significativas en esta fase en el grupo NVF, no siendo así para SMVF.

En el presente estudio se investigaron los efectos agudos y de retención de dos diferentes, pero similares, modalidades integradas de *feedback* visual en vídeo. La cantidad de práctica empleada en esta investigación, comparada con la de otros diseños, pudo explicar la ausencia de diferencias significativas entre los grupos (Cassidy et al., 2006; Menickelli, 2004; Rhoads, 2012; Wulf, Chiviacowsky y Cardozo, 2014). El grupo SMVF logró mayores resultados, pero no diferencias significativas, en comparación con el grupo NVF en la fase práctica. Según Teeling (2016), este hallazgo sugiere que el efecto del *feedback* visual en vídeo a cámara lenta no mejora significativamente la experiencia del aprendiz, pero, en el presente estudio, el *feedback* visual en vídeo de alta velocidad a cámara lenta parece que tampoco obstaculizó la precisión de la habilidad. Sin embargo, el grupo NVF logró un mejor desempeño en la fase de retención, sin ser este significativo en relación con el del grupo SMVF. Respecto a la fase práctica, el enfoque de atención utilizado podría explicar los resultados obtenidos durante las fases clave de la habilidad del chute. El *feedback* intrínseco y la combinación de *feedback* extrínseco (ACC y VEL) proporcionaron múltiples fuentes de información al

ejecutante en diferentes momentos de la secuencia práctica, sin que esté claro si esta cantidad de información fue beneficiosa o no. De hecho, el *feedback* visual en vídeo a cámara lenta podría disminuir la complejidad del proceso de observación en niños durante la fase práctica, afectando al mismo tiempo el sistema de observación de la habilidad (Winter, 2005). El aprendiz tiene más tiempo para observar y puede tomar más información; no obstante, no está claro que la pueda procesar. La excitación de la corteza motora primaria aumenta cuando se observan reproducciones de vídeo a cámara lenta con respecto a la reproducción de vídeo a velocidad real; esto podría explicar los cambios en el rendimiento durante la fase práctica, pudiendo ser también la responsable de una mayor variabilidad en la producción de movimiento (Moriuchi et al., 2014). Sin embargo, la cantidad de información proporcionada (modelado de vídeo al comienzo de la fase práctica, *feedback* visual en vídeo y *feedback* de la velocidad) no reflejó un rendimiento significativamente mayor en la habilidad motora del chute. Por otra parte, aunque las diferencias no fueron significativas, la falta de dicha información durante la fase de retención puede explicar el menor rendimiento del grupo SMVF, en comparación con el rendimiento alcanzado por los otros dos grupos en la fase práctica y la de retención en el TSCORE. El mejor rendimiento del grupo NVF, en comparación con el grupo SMVF, durante la fase de retención, aunque no fue significativo, pudo deberse a la posible dependencia al *feedback* visual en vídeo creada en los sujetos SMVF durante la fase práctica. Este efecto se podría explicar por la hipótesis de guiado (*Guidance Hypothesis*), que establece que el *feedback* extrínseco permanente puede llegar a crear esta dependencia (Schmidt, 1991). Aunque la retroalimentación se proporcionó después de cada bloque de ensayos, el impacto del *feedback* visual en vídeo de alta velocidad a cámara lenta parecía señalar una tendencia creciente en el

rendimiento. Por lo tanto, cuando la ayuda del vídeo a cámara lenta desapareció, el rendimiento disminuyó. En contraste, los sujetos NVF no pudieron desarrollar esta dependencia tanto como los sujetos SMVF durante la fase práctica, ya que el tiempo de observación fue mucho más corto. Esta puede ser la razón por la cual su desempeño permaneció estable en la fase de retención (Sigrist et al., 2013).

De los resultados de la comparación grupal, pudimos observar que cuando los sujetos recibieron *feedback* combinado [*feedback* visual en vídeo y velocidad de la pelota, junto a la información del *feedback* intrínseco, siempre presente (Liebermann et al., 2002)], la atención de los sujetos disminuía y llegaba a dividirse al visionar los vídeos. Esta división podría haber sido facilitada por el tempo de la reproducción del vídeo de alta velocidad. La primera fase se centraba en los puntos internos de la ejecución y la segunda se centró en el resultado de esta (ACC y VEL). Por lo tanto, la observación del vídeo pudo haber influido en la representación mental del movimiento facilitado por la tasa de exposición (Holmes y Calmels, 2008). Estas características podrían haber mejorado la experiencia de *feedback* extrínseco reforzando el enfoque de atención externo, que ha demostrado ser más efectivo en las habilidades de precisión en los deportes (Tod et al., 2007; Wulf et al., 2002; Wulf, Shea et al., 2010; Zachry et al., 2005). Aunque una de las posibles consecuencias de tal cantidad de información pudo ser la interrupción del desempeño agudo de la habilidad motora (Guadagnoli et al., 2002), en este estudio encontramos una rápida mejoría en el desempeño entre los sujetos SMVF y una tendencia creciente a lo largo de los subsiguientes bloques de ensayos en la fase práctica

(excepto en el último bloque), pero no en la fase de retención. En contraste, los grupos NVF y NF mostraron tendencias irregulares de rendimiento a través de los bloques.

El objetivo secundario de este estudio fue observar los efectos agudos de una cantidad reducida de práctica recibiendo *feedback* sobre la desestabilización del patrón motor, considerando el CV de cada sujeto como valor crítico para las variables biomecánicas. En base al experimento, 20 ensayos en la fase práctica parecen ser una cantidad suficiente de actividad para provocar diferencias estadísticamente significativas en el patrón de movimiento entre los tres grupos. Hay que destacar que el diseño de este estudio fue pensado para reflejar la cantidad regular de práctica física existente de la habilidad técnica del chute en una sesión de entrenamiento. Los resultados mostraron un mayor CV para LSTIME, KA1, AA1, HA2, KA2, AA2 y SA en el grupo SMVF con respecto a los grupos NVF y NF en la fase práctica. De acuerdo con la idea de Al-Abood et al. (2001), el uso de *feedback* visual en vídeo a cámara lenta altera el patrón de movimiento en términos temporales y espaciales y, por lo tanto, cambia la percepción del alumno del tiempo exacto de ejecución de la habilidad y de los movimientos espaciales en cada fase. El CV inferior hallado para la fase práctica en el grupo NVF en comparación con el grupo SMVF ilustra que la perturbación del patrón de movimiento es mayor cuando se altera el tiempo del movimiento en la habilidad observada, especialmente en una tarea de alta complejidad que requiere la máxima velocidad y precisión. Posiblemente, la experiencia observacional mejorada del grupo SMVF dio como resultado una mayor variación del patrón de movimiento respecto a los grupos NVF y NF. Pero en habilidades dinámicas, la alta carga de memoria requerida por el *feedback* visual en vídeo a cámara lenta pudo comprometer la

comprensión debido a la limitada capacidad de los niños para retener, integrar y relacionar la información (Van Gog, Jarodzka, Scheiter, Gerjets y Paas, 2009). Los participantes del grupo SMVF estuvieron tratando de integrar la información captada por la observación mejorada y esto se reflejó en una mayor variación de las variables de interacción pie-pelota en la fase práctica. Siendo esto aún más evidente al realizase la tarea con el pie y tener los sujetos que interceptar una pelota en movimiento (Lees et al., 2010; Teixeira, 1999). Katis et al. (2013) argumentaron que los periodos más relevantes para el rendimiento del chute son el periodo de apoyo (desde el contacto del pie de apoyo con el suelo hasta el contacto del pie de impacto con la pelota) y el periodo de interacción pie-pelota (desde el momento de contacto del pie con la pelota hasta que la pelota pierde contacto con el pie). En el presente estudio, se encontraron diferencias significativas en el CV para el LSTIME entre los grupos SMVF y NF en la fase práctica, junto con diferencias en HA1 entre los grupos SMVF y NVF y los grupos SMVF y NF. Estas variables son cruciales para alcanzar velocidades de desplazamiento de pelota elevadas en la habilidad técnica del chute (Lees et al., 2010), y son parte del periodo de apoyo. Del mismo modo, KA2, AA2 y SA, pertenecientes al periodo de interacción pie-pelota, muestran la influencia del *feedback* visual en vídeo de alta velocidad a cámara lenta sobre las variables de las fases más importantes.

Ruitenbergh, Abrahamse y Verwey (2013) demostraron que los niños y los adolescentes podrían realizar sus secuencias sin la guía de un estímulo externo en la condición de estímulo único. Afirmaron que los niños desarrollaron una mayor dependencia de los estímulos externos en comparación a los adolescentes en una secuencia de movimiento dada. Los resultados del

presente estudio refuerzan la idea de que los patrones de movimiento de estos quedan afectados por el *feedback* extrínseco, más aún cuando se altera la sincronización de este (ej., *feedback* visual en vídeo de alta velocidad a cámara lenta) (Al-Abood et al., 2001). Además, los resultados de la última fase temporal controlada en el presente estudio (DTIME) mostraron mayor CV para los grupos SMVF y NVF con respecto al grupo NF. Esto podría explicarse por la idea de que el *feedback* visual en vídeo influye en la reducción de la velocidad angular y/o lineal de la pierna que patea inmediatamente antes del impacto con la pelota, lo cual es necesario para mejorar la precisión del chute (Teixeira, 1999). A partir de la inspección visual de la Figura 5-3, podemos observar un mayor CV en las variables de la tercera fase (HA2, KA2, AA2 y SA) con respecto a las observadas en la primera y segunda fase (ATIME, LSTIME, HA1, KA1, AA1 y DTIME). Esto ilustra que la búsqueda por parte del participante del patrón de movimiento apropiado justo antes del impacto con la pelota resultó en una mayor disrupción reflejada por CV más alto (más del 60% de la media).

Los resultados de este estudio indican que la naturaleza multimodal del *feedback* utilizado en esta investigación (vídeo, velocidad y *feedback* intrínseco) no afecta significativamente el rendimiento del chute en niños en términos de ACC y VEL. El *feedback* visual en vídeo de alta velocidad a cámara lenta aumenta el rendimiento del aprendiz durante la fase práctica, pero el *feedback* visual en vídeo a velocidad real le permite obtener mejores resultados durante la fase de retención, aunque sin diferencias significativas. Estos efectos agudos pueden ser el resultado de que ambos tipos de *feedback* sean de enfoque de atención externo. El *feedback* de enfoque de atención externo parece tener la capacidad de alterar las

variables biomecánicas principales del patrón motor de la habilidad motora sin necesidad de hacer mucha práctica física, siendo la modalidad de *feedback* visual en vídeo a cámara lenta la que produce la mayor disrupción en niños.

### 5.4.2. Discusión del método

A medida que las habilidades motoras se han vuelto más complejas, los biomecánicos han utilizado un enfoque lógico basado en su conocimiento sobre la mecánica, las interacciones entre sistemas complejos y la técnica de ejecución para ayudar a identificar variables contextuales clave para medir. Los entrenadores han utilizado esta aproximación para pedir a los biomecánicos variables específicas de interés que ayuden al desarrollo de los atletas. La ventaja de estos enfoques es su carácter directo, lo que significa que es más probable que el atleta y el entrenador entiendan los resultados. La desventaja es que se pueden identificar variables incorrectas o se pueden omitir variables clave (Lees, 1999). Las variables biomecánicas del Estudio 2 contenían medidas angulares y temporales. Las primeras, aunque aportan información sustancial de cómo se está desarrollando el chute, son difíciles de valorar en una situación ecológica en el entrenamiento. Además, su medición puede conllevar errores asociados con mucha facilidad. Las segundas, por su parte, no. Estos motivos, junto al afán de aproximar la investigación científica a la práctica física, y facilitar con ello el entendimiento de los entrenadores y deportistas, nos ha hecho optar para el Estudio 3 por obviar el análisis de las variables biomecánicas angulares.

# CAPÍTULO 6. ANÁLISIS COMPARATIVO DEL EFECTO DEL *FEEDBACK* VISUAL EN VÍDEO DE ALTA VELOCIDAD EN NIÑOS Y ADOLESCENTES

## 6.1. Introducción

El rendimiento motor de los niños no es el mismo que el de los adolescentes. La comparativa entre los dos muestra que las habilidades que utilizan los niños son menos precisas, más lentas, exigen más atención para ejecutarse y son menos adaptativas a las perturbaciones visuales (Goh, Kantak y Sullivan, 2012). Este es un parámetro relevante que afecta a las habilidades que requieren transformación visomotora, pues los niños muestran un rendimiento inestable y cometen más errores (Bo et al., 2006). Este contraste se complementa con la manera distinta que tienen los dos grupos de aprender y utilizar el *feedback*. Sullivan, Kantak y Burtner (2008) afirman que el *feedback* suministrado a los niños ha de reajustarse continuamente y en los adolescentes no es necesario. Los autores llegaron a esta conclusión después de realizar una investigación en la que compararon el aprendizaje motor obtenido entre estos dos grupos dando una cantidad de *feedback* visual en vídeo del 100% y del 62% de los intentos intergrupo e intragrupos. Los resultados mostraron que los niños que habían recibido mayor *feedback*

obtuvieron mejores resultados de precisión en el test de retención que los que habían recibido menos al ejecutar un movimiento de la articulación del codo, que consistía en dos flexoextensiones, respetando una amplitud específica en el plano horizontal, cosa que no sucedió en los adultos. Este aspecto varió en la readquisición. Por su parte, Emanuel, Jarus y Bart (2008) indican que los niños presentan una capacidad reducida para controlar su enfoque de atención, siendo más sensibles a cualquier interferencia que distraiga. Su opinión deriva de los resultados cosechados cuando compararon el aprendizaje entre este grupo con uno de adolescentes al recibir retroalimentación verbal utilizando un enfoque de atención interno o externo en el lanzamiento de dardos a una diana objetivo. No observaron diferencias significativas del efecto positivo del enfoque de atención externo, en comparación al interno en niños, contradiciendo la eficacia mostrada en adolescentes. Este hecho refuerza la idea de Wendelken et al. (2011), cuando manifiestan que el primer grupo presta menos atención a los estímulos, no responde eficientemente a las demandas de las tareas y sus estrategias resultan menos sofisticadas ante habilidades motoras complejas.

Las habilidades motoras complejas se caracterizan por poseer más de un grado de libertad, necesitar tiempo para dominarse y ser ecológicamente válidas (Wulf y Shea, 2002). Tales propiedades comportan que la ejecución de estas pueda ser difícil para según qué edades. Esto queda de manifiesto cuando observamos el contraste que hay entre niños y adolescentes al ejecutarlas. Según Ruitenberg et al. (2013), uno de los motivos principales para que existan estas diferencias viene dado por cómo procesan la información propioceptiva al planificar y ejecutar los movimientos cada grupo. Los niños, ante movimientos complejos formados por

acciones simples, parece que necesitan pensar en la secuenciación del movimiento por partes durante la práctica física, para realizarlo correctamente al ejecutarlo completo. Por otro lado, los adolescentes son capaces de automatizar la ejecución motora durante este proceso, realizándola más rápida. Asimismo, la literatura también sugiere que los niños tienen mayor dificultad para controlar el movimiento. Este no es tan eficaz y eficiente como el de los adolescentes y repercute negativamente en la consecución de una posición final cómoda, estable y funcional. Esta capacidad se obtiene mientras el sujeto desarrolla el sistema sensoriomotor (Adalbjornsson, Fischman y Rudisill, 2008; Weigelt y Schack, 2010). Thibaut y Toussaint (2010) realizaron un experimento en el que observaron esta evolución en niños de 4 a 10 años. Utilizaron dos habilidades manuales decrecientes en precisión. La primera consistió en hacer coincidir en el final de un movimiento uno de los dos extremos de una barra, cada uno de un color, con unos recipientes, también de diferentes tonos, realizando una parada intermedia en función de la combinación de colores especificados por el investigador. La segunda tarea planteada simuló lo mismo que la anterior, pero utilizaba un lápiz con dos extremos de diferente color y un papel con unos dibujos reconocibles. La tarea consistía en pintar un punto, una raya o seguir un circuito dibujado previamente. El objetivo fue hacerla más funcional, parámetro indispensable para considerarla como una habilidad motora compleja. Los resultados mostraron, en los dos casos, que los niños de 10 años tienen casi la misma pericia anticipando posiciones finales confortables que los adolescentes. Asimismo, se confirmó que esta capacidad decrece a medida que disminuye la edad y no muestra signos de mejora con la práctica física, llegando a ser nula con 4 años.

Los avances tecnológicos han comportado que los profesores y entrenadores implicados en el deporte y el aprendizaje motor tengan nuevas maneras de hacer llegar la información a sus alumnos. La tecnología de vídeo de alta velocidad proporciona una experiencia de *feedback* enriquecida y a cámara lenta que es ampliamente utilizada en estos entornos. Esta información visual es suministrada por igual a todas las edades. Son pocos los estudios que hayan investigado el efecto del *feedback* visual en vídeo de alta velocidad en edades tempranas. Williams (1989), el cual realizó un experimento que contó con 60 sujetos de 12 años, indicó que la observación de un vídeo compuesto por puntos de luz de las articulaciones de la muñeca, el codo y el hombro de un modelo desde un punto de vista frontoparietal, visto a esta velocidad y realizando el movimiento típico de lanzamiento de un dardo a una diana, cuesta de identificar, en comparación al visionado a velocidad real (los tres grupos de sujetos lo vieron cuatro veces a distintas velocidades). Por el contrario, expone que alternar la observación del vídeo junto a la práctica física (3 bloques x 10 ensayos) favoreció la precisión del movimiento, pero alteró el tempo de ejecución. Scully y Carnegie (1998) demostraron que, en edades más avanzadas, el *feedback* visual en vídeo a cámara lenta de un movimiento de ballet sin puntos de luz con práctica física tuvo los mismos efectos agudos. Es decir, la imitación del movimiento del modelo fue buena, pero con el tempo modificado. Esto es remarcable, ya que los sujetos solo observaron la demostración 3 veces, realizaron 10 ensayos de adquisición, descansaron, y realizaron 10 ensayos finales. Referencias indicadas por Al-Abood et al. (2001), cuando comparó el rendimiento y la eficacia biomecánica al lanzar un dardo a una diana objetivo situada a 3 m de distancia. Los sujetos estaban divididos en dos grupos de 5 y realizaron 100 lanzamientos, alternando 10 ensayos con *feedback* visual en vídeo antes y después de estos y

descansando cada 20 intentos. La retención de 20 lanzamientos, realizada un día después y sin *feedback* mostró que el grupo que observó los vídeos a cámara lenta fue menos preciso en los movimientos temporales relativos y espaciales y obtuvo peores resultados que el que los visualizó a velocidad real. Teeling (2016) es el único que prueba el efecto del *feedback* visual en vídeo a cámara lenta, replicando una habilidad técnica de fútbol y comparando un grupo de expertos y uno de aprendices. Sin nombrar ningún punto en el que fijarse, los sujetos observaron el vídeo y practicaron la acción 48 veces (6 bloques de 8 visionados/ensayos). El grupo experto realizó antes y mejor el movimiento complejo, compuesto por tres fases, indistintamente del visionado observado. Según el autor, la precisión de la habilidad técnica se vio afectada por el nivel del ejecutante y el tipo de visionado. Los expertos obtuvieron mejores resultados que los noveles y los que visionaron los vídeos a velocidad real mejores que los que los visionaron a cámara lenta. No obstante, no encontró diferencias en relación con la velocidad de ejecución del movimiento.

Las diferencias existentes entre los adolescentes y los niños, tanto al asimilar el *feedback* como al ejecutar una habilidad motora compleja, suscitan el interés por confrontar el rendimiento de los dos grupos al recibir *feedback* visual en vídeo de alta velocidad ante la misma habilidad técnica. Por eso, el objetivo perseguido en el tercer estudio fue comparar los efectos agudos de este tipo de *feedback* junto a la retroalimentación de la velocidad del chute en las dos poblaciones. La comparativa contempló la ACC, la VEL y la estabilización del patrón de movimiento (en tiempos de ejecución) en los periodos más relevantes de la habilidad técnica del chute.

## **6.2. Material y método**

### **6.2.1. Sujetos**

La muestra estaba compuesta por 41 sujetos. 21 niños con una edad media comprendida entre  $8.5 \pm 0.7$  años y 20 adolescentes de una edad media de  $16.7 \pm 1.9$  años. No acabaron el test 2 niños y 2 adolescentes, dando una muestra final de 37 individuos. Todos los participantes tenían una lateralidad diestra, eran físicamente activos en el fútbol (participando en 2-3-4 sesiones de entrenamiento por semana), y no presentaban lesiones. No poseían experiencia de la tarea experimental y tampoco conocían el propósito del estudio. Este se realizó con el consentimiento informado de los padres y siguiendo todas las directrices para la investigación experimental con seres humanos. El Comité de Ética de la Universitat Ramon Llull de Barcelona aprobó el desarrollo de este estudio, que se realizó de acuerdo con la última versión de la Declaración de Helsinki.

### **6.2.2. Aspectos éticos**

El estudio cumplió todas las propuestas validadas y presentadas por el Comité de Ética de la Universitat Ramon Llull.

## 6.2.3. Procedimiento

### 6.2.3.1. Instrumentos

El Estudio 3 siguió el protocolo establecido en el Estudio 2 sin prueba de retención. Los dos grupos de sujetos utilizaron el mismo material, diferenciándose solamente por el tamaño del balón empleado. El número de cámaras de vídeo de alta velocidad Casio® EXILIM EX F1 manejadas para grabar la habilidad técnica, analizarla y dotar de *feedback* a los participantes fue el mismo. Se mantuvo igualmente el uso del Radar Stalker® para conocer la velocidad de desplazamiento del móvil, de una lona de 6 m<sup>2</sup> para delimitar las aéreas de precisión de la portería y de una rampa calibrada para lanzar los balones a velocidad controlada. Del mismo modo, se recurrió al mismo programa de edición de vídeo Kinovea (versión 0.8.24) para el análisis de las imágenes filmadas.

### 6.2.3.2. Tarea y configuración

La carrera de aproximación para chutar con el pie dominante (el diestro) era la misma para los niños y los adolescentes. Sin embargo, el balón varió su tamaño y presión para adaptarse al sujeto que realizaba la habilidad técnica. En el primer grupo se utilizó una pelota de tamaño 4 (0.6 atmósferas de presión), mientras que en el segundo era de tamaño 5 (0.8 atmósferas de presión). El objetivo perseguido en los dos casos fue dirigirla con la mayor

rapidez y precisión posible hacia la diana objetivo, situada en el caso uno a una distancia de 9 m, y en el dos a 9.85 m. Las características del blanco, de la zona de tiro y del dispositivo de proyección fueron igual para ambos. El experimento contó con dos cámaras de vídeo de alta velocidad (modelo Casio EXILIM EX F1, Casio Inc., Tokio, Japón) para registrar todos los chutes. Ambas estaban montadas en un trípode y cada lente de la cámara estaba a 1.15 m sobre el suelo. Filmaron la habilidad desde una perspectiva sagital y desde una oblicua que ofrecía toda la escena. Durante la investigación se registró la velocidad del balón utilizando un radar (Stalker Pro, Radar Sales Inc., Minneapolis, MN, EE.UU.) con una precisión de 0.04 ms<sup>-1</sup>, un rango de velocidad de 0.44-134.11 ms<sup>-1</sup> y un muestreo cada 0.01 s. Partiendo del punto de impacto, se colocó la pistola del radar a una altura de 1.5 m para garantizar la veracidad de los datos. Paralelamente se alineó el radar con la posición del participante y la dirección del objetivo para garantizar un error máximo de menos de 10 grados (1.5% de error). El radar estaba conectado a una computadora portátil (ver punto 5.2.3.2).

### 6.2.3.3. Diseño

La asignación de participantes comportó el establecimiento de los siguientes grupos en el Estudio 3: niños con *feedback* visual en vídeo de alta velocidad (CSMVF) entre ensayos (n = 11), adolescentes con *feedback* visual en vídeo de alta velocidad (TSMVF) entre ensayos (n = 8), niños sin *feedback* visual en vídeo de alta velocidad (CNF) (n = 8) y adolescentes sin *feedback* visual en vídeo de alta velocidad (TNF) (n = 10). Las instrucciones básicas sobre el procedimiento de la prueba antes de empezar fueron las mismas para todos los grupos (ver

punto 4.2.3.3). El análisis de los datos se basó en la subdivisión por fases basadas en los periodos descritos por Lees et al. (2010) y Lees y Nolan (1998), que sirvieron al mismo tiempo para crear el modelaje del vídeo que se suministró, el cual tuvo una duración de 30 s y fue visto dos veces (Figura 4-6). Los participantes realizaron un pretest de 5 ensayos, más una fase práctica de 20 lanzamientos (4 bloques de 5 chutes) (B1, B2, B3 y B4) con un periodo de descanso de 30 s entre cada ensayo y 3 min entre bloques. Los participantes de los grupos CSMVF y TSMVF recibieron el *feedback* visual en vídeo de alta velocidad de su ejecución desde C1 y el *feedback* extrínseco de la velocidad obtenida del radar. Estos participantes observaron el vídeo reproducido a 240 fps (tiempo total de observación de 60 s por 5 lanzamientos) después de cada bloque. Los grupos CNF y TNF no recibieron ningún tipo de *feedback*. No hubo prueba de retención.

#### **6.2.3.4. Análisis de los datos**

El análisis de vídeo se hizo con el *software* Kinovea (versión 0.8.24). En esta investigación no se tuvieron en cuenta las variables asociadas a los ángulos articulares correspondientes a los distintos periodos. Consecuentemente, las variables contempladas fueron las siguientes: del periodo de aproximación, ATIME y LSTIME. Del periodo de apoyo, DTIME. Y finalmente, del periodo de vuelo de la pelota, la VEL y el TSCORE (Tabla 4.2 para el grupo CSMVF y CNF; Tabla 5.1 para TSMVF y TNF). Se analizaron los tiempos (ATIME, LSTIME, DTIME) desde C2. La C1 se utilizó para proporcionar *feedback*. Se siguió el mismo procedimiento que en el protocolo del Estudio 2 para analizar los datos de movimiento

siguiendo las directrices de Payton (2008) para grabaciones bidimensionales de vídeo, para calcular la confiabilidad intra e interobservador, para medir la velocidad máxima de la pelota y la precisión del lanzamiento, y para obtener el TSCORE (ver punto 5.2.3.4).

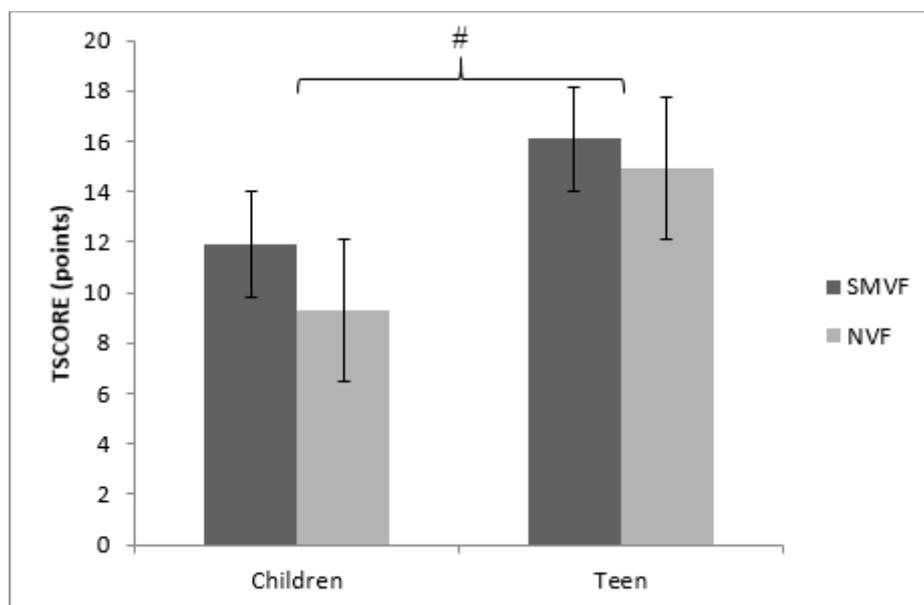
### **6.2.3.5. Análisis estadístico**

Todos los cálculos se efectuaron con el *software* estadístico SPSS v.22 (SPSS Inc., Chicago, IL, EE.UU.) y el nivel de significación se estableció en  $p < 0.05$ . La normalidad de los datos se confirmó antes del análisis inferencial a través de una prueba de Shapiro-Wilk. Los datos fueron expresados como media  $\pm$  desviación estándar para la condición SMVF y NF en niños y adolescentes. El CV como porcentaje se calculó para todas las variables temporales en todos los sujetos para establecer la estabilidad del patrón de movimiento. También realizamos el promedio de las puntuaciones de rendimiento en bloques de ensayos. Por lo tanto, aplicamos un análisis de la varianza de 4 (bloque: bloques de 5 ensayos)  $\times$  4 (grupo: CSMVF, CNF, TSMVF y TNF), con medidas repetidas en el factor bloque para evaluar los efectos del bloque en el proceso de aprendizaje y del tipo de *feedback* sobre TSCORE. Para evaluar la desestabilización del patrón de movimiento (variables temporales) a través de los diferentes grupos de ensayos, se aplicó un ANOVA de 4 (bloques de ensayos: bloque 1, 2, 3 y 4)  $\times$  4 (grupo: CSMVF, CNF, TSMVF y TNF). El monitoreo de contrastes multivariados se realizó a través del análisis univariado. Para determinar estos contrastes, realizamos un análisis *post-hoc*, utilizando el ajuste de Bonferroni.

## 6.3. Resultados

### 6.3.1. Rendimiento del chute

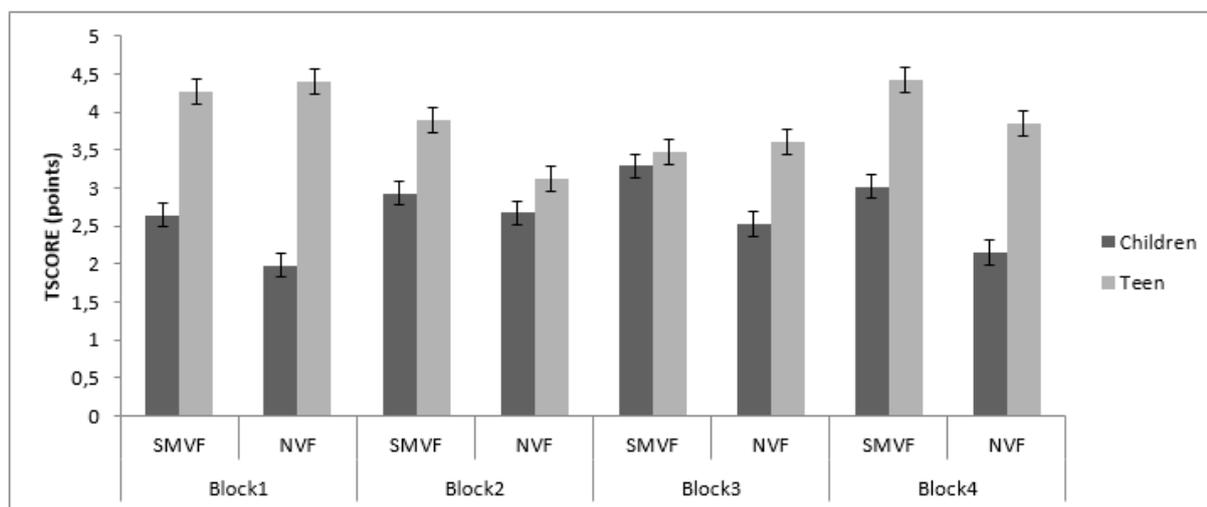
ANOVA reveló que existía un efecto principal estadísticamente significativo en el factor grupo en el rendimiento TSCORE ( $F_{(3,33)} = 5.166$ ,  $p < 0.05$ ,  $\eta^2_p = 0.319$ ). En la comparación por pares se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre CNF y TSMVF, pero no entre los otros grupos. No obstante, sí se observaron tendencias de rendimiento a favor de los grupos con *feedback* visual en vídeo de alta velocidad (Figura 6-1).



**Figura 6-1.** TSCORE total para los grupos CSMVF, TSMVF, CNF y TNF. *Children = Niños; Teen = Adolescentes; SMVF = Con feedback visual en vídeo de alta velocidad; NF = Sin feedback visual en vídeo de alta velocidad. Las barras de error representan errores estándar.*

# Diferencias significativas entre CNF y TSMVF ( $p < 0.05$ )

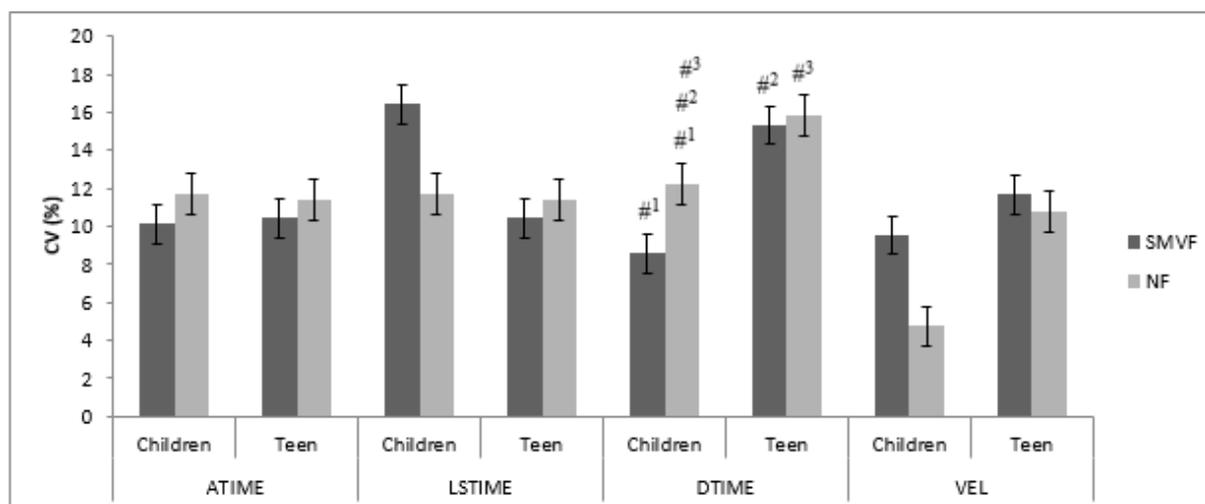
No se encontraron diferencias significativas por el factor bloque ( $F_{(3,33)} = 0.159, p > 0.05, \eta^2_p = 0.015$ ). Tampoco fue estadísticamente significativa la interacción grupo x bloque ( $p > 0.05$ ) (Figura 6-2).



**Figura 6-2. TSCORE medio por bloque para los grupos CSMVF, TSMVF, CNF y TNF. Children = Niños; Teen = Adolescentes; SMVF = Con feedback visual en vídeo de alta velocidad; NF = Sin feedback visual en vídeo de alta velocidad. Las barras de error representan errores estándar.**

### 6.3.2. Desestabilización del movimiento

ANOVA no indicó un efecto principal significativo para ATIME ( $F_{(3,37)} = 0.550, p > 0.05, \eta^2_p = 0.043$ ), LSTIME ( $F_{(3,37)} = 2.080, p > 0.05, \eta^2_p = 0.144$ ) y VEL ( $F_{(3,37)} = 1.818, p > 0.05, \eta^2_p = 0.128$ ), pero sí en DTIME ( $F_{(3,37)} = 11.205, p < 0.05, \eta^2_p = 0.476$ ). La comparación por pares mostró diferencias significativas solo en DTIME entre el grupo CSMVF y CNF ( $p < 0.05$ ); entre TSMVF y CNF ( $p < 0.05$ ); y entre CNF y TNF ( $p < 0.05$ ) (Figura 6-3).



**Figura 6-3.** CV medio de las variables temporales. *ATIME* = Tiempo de aproximación; *LSTIME* = Tiempo del último paso; *DTIME* = Tiempo de descenso; *VEL* = Velocidad de desplazamiento del balón; *Children* = Niños; *Teen* = Adolescentes; *SMVF* = Con feedback visual en vídeo de alta velocidad; *NF* = Sin feedback visual en vídeo de alta velocidad. Las barras de error representan errores estándar.

# 1 Diferencias significativas entre CSMVF y CNF ( $p < 0.05$ )

# 2 Diferencias significativas entre TSMVF y CNF ( $p < 0.05$ )

# 3 Diferencias significativas entre CNF y TNF ( $p < 0.05$ )

## 6.4. Discusión

El *feedback* visual en vídeo tiene efectos diferenciados en función del sujeto que lo recibe. Su contribución en el aprendizaje motor depende de las características del sujeto que lo observa y del tipo de *feedback* visual en vídeo utilizado. La información transmitida debe adaptarse a tal circunstancia ofreciendo la versión más representativa del mensaje. El *feedback* visual en vídeo de alta velocidad suministra más imágenes y de mayor calidad, alterando la velocidad de visionado al mostrar más fps. Esta propiedad puede ser un elemento diferencial para el aprendizaje según la edad. La investigación llevada a cabo quiso conocer los efectos agudos provocados por este procedimiento en niños y adolescentes junto al *feedback* extrínseco

de la velocidad de desplazamiento de la pelota. Para tal fin se comparó el rendimiento obtenido mediante el TSCORE y el CV de las variables temporales del patrón de movimiento de los periodos más relevantes de la habilidad técnica del chute en cuatro grupos diferentes.

Los resultados de rendimiento mostraron efectos estadísticamente significativos para el factor grupo en el TSCORE, encontrándose diferencias entre CNF y TSMVF. No ocurrió lo mismo para el factor bloque. Sin embargo, es destacable que tanto el grupo CSMVF como el TSMVF obtuvieron mayoritariamente mejores resultados que CNF y TNF al compararse entre grupos de la misma edad en cada bloque de lanzamientos (tan solo en el bloque 1 y el bloque 3 TNF supera a TSMVF, siendo la diferencia pequeña). Este hecho contradice los resultados encontrados por Goh et al. (2012) y Bo et al. (2006), cuando afirman que los niños son menos adaptativos a las perturbaciones visuales y cometen más errores cuando deben transformar información visomotora para realizar una habilidad motora. Además, este resultado a favor de los grupos que recibieron *feedback* visual en vídeo de alta velocidad también se observa al prestar atención al TSCORE total de cada grupo. Tanto los grupos que recibieron *feedback* como los que no lo recibieron mejoraron su rendimiento; no obstante, cabe indicar que la diferencia entre el TSCORE total del grupo CSMVF, en comparación al de CNF y el de TSMVF en comparación al de TNF, fue más grande para los niños que para los adolescentes. Esto rebate la idea ofrecida por Sullivan et al. (2008), cuando afirman que los niños necesitan mayor cantidad de *feedback* que los adolescentes para obtener resultados parecidos. De hecho, los resultados sugieren que la estrategia de suministro de *feedback* utilizada, retroalimentación visual en vídeo de alta velocidad cada 5 lanzamientos durante 4 bloques de una duración de 60

s, fue una frecuencia eficaz para tal fin. La cantidad de *feedback* ofrecido fue del 100% de las acciones, pero al ofrecerse por bloques, permitió una práctica más continua. Paralelamente, el TSCORE obtenido por TSMVF y TNF siempre fue más elevado que el obtenido por CSMVF y CNF, mostrando mayor precisión y potencia. Este hecho pudo ser debido a las diferencias físicas existentes entre los dos grupos. Los adolescentes tenían más experiencia realizando la habilidad técnica del chute y también poseían mayor control motor y fuerza que los niños.

La cantidad de práctica física realizada (4 bloques de 5 lanzamientos) fue suficiente para revelar diferencias estadísticamente significativas en el CV de ciertas variables temporales correspondientes al patrón motor de movimiento. Los resultados obtenidos mostraron que en la variable DTIME existieron diferencias entre CSMVF y CNF, entre TSMVF y CNF y entre CNF y TNF. El efecto agudo en el CV de las variables temporales del patrón motor de movimiento del grupo TSMVF después de recibir *feedback* visual en vídeo de alta velocidad fue cuasi el mismo que el de TNF que no recibió. Lo observado contrasta con la idea de Al-Abood et al. (2001), cuando exponen que el *feedback* visual en vídeo a cámara lenta turba los parámetros temporales y espaciales del patrón de movimiento, al menos en los adolescentes, y está en consonancia con Teeling (2016), que manifiesta que el *feedback* visual en vídeo a cámara lenta, retroalimentación presente cuando se visiona un vídeo de alta velocidad, no obstaculiza la precisión y regularidad del lanzamiento. Por el contrario, no ocurrió lo mismo con los grupos CSMVF y CNF, en los que las diferencias fueron más marcadas. En ATIME y en DTIME, el CV fue más elevado para el grupo CNF. En cambio, para LSTIME y VEL, el CV fue superior para el grupo CSMVF. Según Williams (1989), el *feedback* visual en vídeo a cámara lenta

ayuda a precisar el movimiento en edades tempranas. Que el CV fuera más bajo para CSMVF en la variable DTIME, variable que recoge momentos clave para obtener un buen rendimiento en el chute (Lees et al., 2010; Lees y Nolan, 1998), puede indicar que este tipo de *feedback* visual en vídeo en niños ayuda a controlar el movimiento del periodo de apoyo y el de interacción pie-pelota mediante la consecución de una posición final cómoda y estable. Esta idea es acorde con la de Thibaut y Toussaint (2010), cuando expusieron que los niños de 10 años tienen la misma capacidad que los adolescentes de llegar a esta posición funcional. Sin embargo, Williams (1989) también indica que, en esta población, el *feedback* visual en vídeo a cámara lenta altera el tempo de la ejecución. Este último factor puede explicar el CV tan dispar entre las variables temporales del grupo CSMVF, pues al observar el CV de las mismas variables en el grupo CNF, vemos que el CV es semejante. Otro aspecto remarcable fue que el CV obtenido en ATIME por los cuatro grupos fue parecido. Esto pudo ser debido al diseño del experimento, pues estipulaba el recorrido de aproximación a la pelota, el cual era de una distancia muy corta. Tal circunstancia pudo impedir ver mayores diferencias entre los grupos, a pesar de recibir *feedback* diferente. Junto a esto, es reseñable indicar que el CV más elevado para TSMVF era el de la variable DTIME, mientras que para CSMVF se encontró en LSTIME. De hecho, la diferencia más alta del CV entre CSMVF y CNF fue en esta variable. Según Lees et al. (2010) y Lees y Nolan (1998), estas dos variables repercuten directamente en la velocidad final del chute, aspecto que puede verse observado en el CV más elevado que presentaron estos dos grupos en la variable VEL, en comparación con TNF y CNF. Que no coincidieran las variables en ambos grupos puede indicar que los adolescentes y los niños utilizaron puntos de referencia diferentes para conseguir el objetivo perseguido, un golpeo que combinara VEL y

ACC. Esto puede alinearse con lo manifestado por Ruitenberget al. (2013), cuando indican que los niños, ante movimientos complejos, necesitan pensar en la secuenciación del movimiento a partir de las acciones simples que lo componen, y los adolescentes lo automatizan. Además, este contraste en VEL a favor de los grupos sin *feedback* visual en vídeo de alta velocidad pudo ser potenciado por el tipo de *feedback* suministrado, en el que también se observaban el resto de las variables, puesto que este fue dado mediante un enfoque de atención externo (incluye la secuencia completa del movimiento y el conocimiento del resultado) y la capacidad de asimilación de este tipo de enfoque es menor en niños que en adolescentes (Emanuel et al., 2008). Esto pudo derivar en la diferencia más alta del CV entre CSMVF y TSMVF al comparar este parámetro en la variable VEL entre CSMVF y CNF con TSMVF y TNF. Este elemento mostró que a los niños les perturbó más el patrón motor que a los adolescentes el *feedback* visual en vídeo de alta velocidad junto al *feedback* verbal de la velocidad del chute.

En conclusión, los niños con *feedback* visual en vídeo de alta velocidad obtuvieron mejor TSCORE total que los niños que no lo recibieron. Ocurrió lo mismo con los adolescentes, si bien es cierto que no sucedió en todos los bloques. Al mismo tiempo, los niños a los que se les administró este tipo de *feedback* tuvieron una desestabilización del patrón motor más remarcada que los adolescentes que también lo visualizaron.

---

## CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN GENERAL

Las investigaciones realizadas perseguían averiguar el efecto agudo del *feedback* visual en vídeo de alta velocidad en el aprendizaje motor de una habilidad motora compleja en distintas edades. La ejecución de la habilidad técnica del chute en el fútbol realizada por niños y adolescentes se usó para comprobar la eficacia de este tipo de retroalimentación en comparación al de otras modalidades visuales de vídeo mediante aprendizaje observacional. En todos los estudios realizados se valoró el rendimiento TSCORE y el CV del patrón motor o temporal de las principales fases del chute.

### **7.1. *Feedback* visual en vídeo de alta velocidad, cantidad de práctica y rendimiento**

Sin duda, la cantidad de práctica y la repetición son componentes esenciales para la consecución del aprendizaje significativo y duradero. De todas formas, la cantidad de práctica en una sesión siempre es limitada. Los estudios de esta tesis pretendieron investigar los efectos agudos del *feedback* visual en vídeo sobre el rendimiento y como este tipo y cantidad de *feedback* suministrado alteraba la acción motora del chute. Las hipótesis fueron que el *feedback* visual en vídeo de alta velocidad mejoraba el rendimiento (TSCORE) en la acción del chute.

No se encontraron diferencias significativas al comparar el efecto del *feedback* visual en vídeo de alta velocidad en adolescentes (Estudio 1), en niños (Estudio 2), pero sí entre ellos (Estudio 3) en el TSCORE. Es necesario decir que los estudios realizados pretendieron recrear la cantidad de práctica física de la habilidad técnica del chute en la práctica real. Esta habilidad técnica aparece de manera residual durante el transcurso del juego. Reproducir esta cantidad menor de repeticiones en comparación a otros diseños pudo explicar la ausencia de resultados significativos (Cassidy et al., 2006; Menickelli, 2004; Rhoads, 2012; Wulf et al., 2014). Sin embargo, es remarcable indicar que en el Estudio 1 el *feedback* visual en vídeo de alta velocidad en adolescentes (FEEDBACK) mostró un *small* y *likely* efecto positivo en el bloque 1 y no en el resto. Tal aspecto no sucedió con el grupo que no recibió retroalimentación (NON FEEDBACK). Las tendencias de rendimiento por bloques producidas en el Estudio 2 por el grupo SMVF, que fue el que tomó *feedback* visual en vídeo de alta velocidad, mostraron un aumento en el TSCORE en el bloque 1 en comparación al pretest. Sin ser significativo este incremento en el rendimiento, fue el único grupo que lo consiguió, sucediendo lo mismo que en el Estudio 1 pero en edades diferentes. Tal circunstancia coincide con lo acontecido en otros estudios de *feedback* de diferentes modalidades (Wulf y Adams, 2014; Wulf et al., 2015; Wulf, Chiviakowsky et al., 2010). Además, el rendimiento siguió incrementándose en el bloque 2 y en el 3 (consiguiendo la máxima puntuación), bajando posteriormente en el 4. Por contra, el grupo NVF mostró un rendimiento parecido en el TSCORE del pretest con el logrado en el bloque 1, subió en el bloque 2, bajó en el 3 y volvió a subir en el 4. El rendimiento de este grupo estuvo por debajo en todos los bloques de la fase práctica del alcanzado por el grupo SMVF. No fue así en el pretest y en la prueba de retención, donde igual que Boyer et al. (2009) con un

grupo de gimnastas de una edad entre 7 y 10 años que siguieron un protocolo en el que combinaron *feedback* verbal y visual de un modelo experto, mostró los mejores resultados. El grupo NF bajó de manera pronunciada su rendimiento en el TSCORE del pretest al bloque 1, subió en el bloque 2, bajó en el 3 (quedando igual que el grupo NVF) y siguió bajando en el 4. Obtuvo los peores resultados en el test inicial, los bloques de práctica y la prueba de retención. De hecho, el TSCORE fue casi el mismo antes y después de la fase práctica, mostrando las ventajas agudas asociadas al *feedback* visual en vídeo. Esta dinámica de resultados a favor de SMVF y en contra de NVF en la fase práctica difiere de la hallada por Al-Abood et al. (2001). Sus resultados siempre fueron mejores en todas las fases para el grupo que recibió *feedback* visual en vídeo a velocidad real en vez del que lo visualizó a cámara lenta. La diferencia de edad fue grande y podría explicar la discordancia encontrada (8.9 años vs. 23.2 años). Sin embargo, las tendencias de rendimiento observadas en el Estudio 1 con una muestra formada por adolescentes (16.5 años) ponen en duda esta posibilidad. Tal y como exponen Wulf y Shea (2002), la experiencia motora realizando la habilidad técnica reduce la percepción de complejidad de esta y es determinante en su ejecución eficaz y eficiente. La muestra de los estudios conocía la habilidad técnica del chute y tenía experiencia realizándola, ya que la utilizaban constantemente en sus entrenamientos. En el caso de Al-Abood et al. (2001), en cambio, la acción fue un lanzamiento de dardos alterado, pues la diana estaba situada en el suelo a 3 m de distancia, aspecto que impidió que la muestra tuviera experiencia previa en su ejecución. Teeling (2016) realizó una investigación para evaluar si existía diferencia en el aprendizaje motor entre expertos y novatos al recibir *feedback* visual en vídeo a cámara lenta y *feedback* visual en vídeo a velocidad real sobre la ejecución de una habilidad técnica del fútbol,

y el Estudio 3 hizo lo mismo en sujetos de edades desiguales a través de *feedback* visual en vídeo de alta velocidad. Este último mostró que tanto los niños como los adolescentes se beneficiaron en la práctica física de este tipo de *feedback*, pues CSMVF y TSMVF obtuvieron mejor TSCORE total que los grupos CNF y TNF. Esta circunstancia fue refrendada por Teeling (2016) para los expertos al realizar el lanzamiento, puesto que golpearon con más asiduidad la diana objetivo que los novatos en ambos grupos de *feedback*. Si bien es cierto que todos los grupos mejoraron su rendimiento. A esto, hay que añadir que la diferencia en el TSCORE total entre CSMVF y CNF y TSMVF y TNF, sin ser significativa, fue favorable a los niños. Circunstancia que también ocurrió en los bloques. Cabe resaltar, por eso, que los adolescentes consiguieron un rendimiento más alto. Aspecto que se opone a la idea de que los niños tienen más dificultad ante la transformación de la información visomotora (Goh et al., 2012 y Bo et al., 2006), y se alinea más con tener experiencia realizando la habilidad, para que el aprendiz pueda asociar las acciones mostradas en vídeo y tener éxito (Calvo-Merino et al., 2006).

## **7.2. Desestabilización del patrón motor y tipos de *feedback***

La retroalimentación visual en vídeo es un tipo de *feedback* extrínseco que permite observar lo acontecido. Su suministro afecta al sujeto que realiza la acción motora. En consecuencia, el patrón motor puede desestabilizarse y alterar la ejecución de la habilidad técnica del chute. Por eso, las hipótesis planteadas en la tesis mediante los estudios realizados auguraban la disminución de la variabilidad de las variables que componen el chute al recibir *feedback* visual en vídeo de alta velocidad.

En referencia a la estabilización del patrón motor, en el Estudio 1, el *feedback* visual en vídeo de alta velocidad favoreció al grupo FEEDBACK en la estabilización del patrón motor en la fase práctica de las variables biomecánicas del chute LSTIME, HSA1, KSA1, en comparación al grupo NON FEEDBACK. Los resultados obtenidos no fueron estadísticamente significativos, pero sí mostraron, a través de las inferencias basadas en la magnitud del tamaño del efecto, un efecto *likely* de este tipo de *feedback* en los adolescentes en las variables de la habilidad técnica del chute del periodo de aproximación y de apoyo. Por su parte, los resultados del Estudio 2 realizado con niños mostraron diferencias estadísticamente significativas en la fase práctica en LSTIME entre el grupo SMVF y NF, viéndose un CV más bajo para el segundo grupo, en contraposición al resultado obtenido por los adolescentes. Dicho contraste parece llamativo, ya que sucede en una variable significativa para la velocidad final del chute en la que existe un desplazamiento corporal en el espacio (Lees y Nolan, 2002). De hecho, este movimiento debía coincidir en el tiempo con la pelota para transferir la inercia conseguida a la patada y dar potencia al balón. También hubo diferencias en HA1 entre SMVF y NVF y entre SMVF y NF, siendo el primer grupo en los dos casos el que mostró un CV más bajo. Este parámetro fue coincidente con lo sucedido en el Estudio 1 con una muestra de edad diferente para el ángulo de la cadera, articulación ligada a la precisión final del lanzamiento (Lees et al., 2010). En DTIME, donde el grupo SMVF mostró un CV del patrón motor que se situó entre el del grupo NVF y NF, siendo el grupo que recibió *feedback* visual en vídeo a velocidad real el que reprodujo el movimiento de la habilidad técnica del chute con más perturbación motora (mayor CV), se obtuvieron diferencias significativas entre SMVF y NVF y entre SMVF y NF. No ocurrió lo mismo en las siguientes variables, en las que el grupo SMVF fue el que obtuvo

el CV más alto que el resto de los grupos, mostrando mayor inestabilidad. En KA2 hubo diferencias significativas entre SMVF y NF. Asimismo, en AA2 el grupo SMVF volvió a tener el CV más alto, pero en este caso las diferencias significativas fueron entre SMVF y NVF. Y finalmente en SA, en la cual se repitió lo ocurrido en la anterior variable biomecánica. Estos resultados coinciden con los encontrados por Williams (1989), Scully y Carnegie (1998) y Al-Abood et al. (2001), cuando indicaron que el patrón temporal del movimiento se altera al visionar *feedback* visual en vídeo a cámara lenta. Además, en los resultados obtenidos también se puede observar que la estabilización del patrón motor de las variables temporales (asociadas a la velocidad de ejecución del movimiento) no dependió del *feedback* visual en vídeo recibido, pues en cada variable temporal, el grupo que lo estabilizó más, varió. No obstante, el *feedback* visual en vídeo a velocidad real fue en el que más semejanza entre variables se observó (mayor homogeneidad del CV entre variables).

### **7.3. Retención del aprendizaje con y sin *feedback***

Una habilidad motora ha sido aprendida cuando esta se ejecuta de manera eficaz y eficiente después de un periodo de tiempo. El *feedback* visual en vídeo transmite gran cantidad de información cualitativa del patrón de movimiento de la habilidad motora que junto a la cantidad de práctica supuestamente debe ayudar a consolidar la ejecución. Las hipótesis de los estudios de la tesis fueron en esa dirección, pues se estableció que el grupo de niños que recibió *feedback* visual en vídeo de alta velocidad obtenía mejores resultados en el ajuste de la precisión

y la velocidad de la habilidad motora compleja del chute que el grupo que recibió *feedback* visual en vídeo a velocidad real y que el que no recibió *feedback*.

En nuestro caso, como se ha comentado en los párrafos anteriores, esta estabilización no se tradujo en mejor rendimiento durante la fase práctica, pero sí en la retención. Esto podría explicarse por varios motivos. La cantidad de información suministrada mediante el *feedback* visual en vídeo de alta velocidad pudo influir en el visionado de la habilidad (Winter, 2005). Los niños, a pesar de tener experiencia en la habilidad técnica, tuvieron que procesar mucha información cualitativa proveniente del vídeo a cámara lenta de una habilidad motora compleja. Esto pudo requerir una alta carga memorística. Este hecho pudo mermar la percepción de lo observado, porque los niños suelen tener limitaciones en retener, integrar y relacionar la información (Van Gog et al., 2009). De igual modo, también pudo ser que el *feedback* visual en vídeo de alta velocidad creara dependencia a los niños que lo recibieron. Sus características mejoradas puede que fueran un soporte consistente durante la práctica. De hecho, la hipótesis de guiado indica que el *feedback* extrínseco constante provoca esta circunstancia (Schmidt, 1991). Esto pudo explicar que, al extraerlo en la fase de retención, el grupo SMVF obtuviera peores resultados. En el Estudio 2 con el *feedback* visual en vídeo a velocidad real, también se observaron diferencias estadísticamente significativas entre el grupo NVF y NF en el CV del patrón motor en DTIME, siendo más bajo el del segundo grupo. En KA2, ángulo de la cadera del periodo de interacción, pasó lo mismo, mientras que en AA2, ángulo del tobillo del mismo periodo, ocurrió lo contrario. En cambio, en la fase de retención, solo en AA2 hubo diferencias significativas entre SMVF y NVF en el CV del patrón motor. Este fue más bajo en el segundo

grupo. Respecto al factor bloque, ATIME fue la única variable en la que se encontraron diferencias significativas entre la fase práctica y de retención. Estas diferencias encontradas ponen en relieve los hallazgos de Guadagnoli et al. (2002), con una muestra de edad completamente diferente e inexperta, pues sigue la misma tendencia, no observándose una estabilidad del patrón motor en la fase de adquisición y sí en la de retención. Por el contrario, Horn et al. (2002) observaron una reducción de la variabilidad de los indicadores temporales para la variante de la habilidad técnica del chute que escogieron, resultados que contrastan con los obtenidos en la prueba de retención que realizamos, puesto que el grupo NVF siguió mostrando el CV más alto para DTIME.

## **7.4. Edad y efectos del *feedback* visual sobre la desestabilización del patrón motor**

La percepción y asimilación de los acontecimientos vividos difiere entre personas de diferentes edades. Además, la capacidad motora evoluciona con los años pudiéndose hacer más sutil y precisa. Esto comportó que las hipótesis referidas al efecto agudo del *feedback* visual en vídeo de alta velocidad sobre la desestabilización del patrón motor en función de la edad del sujeto de los estudios de la tesis fueran diferentes según si el grupo era de niños o adolescentes. Se expuso que disminuía la variabilidad de las variables en los dos grupos, pero más en el segundo caso.

Cabe resaltar que, en el Estudio 2, se definieron nuevamente las variables dentro de los mismos periodos, siendo diferentes que las utilizadas en el Estudio 1. Dichas variables se mantuvieron en el Estudio 3, dejando solo las temporales. De nuevo se observaron diferencias estadísticamente significativas en DTIME, concretamente entre CSMVF y CNF, entre TSMVF y CNF, y entre CNF y TNF. Esta fue la variable en la que el CV entre edades fue más heterogéneo, siendo más alto en el grupo de adolescentes. Aun así, los grupos que recibieron *feedback* visual en vídeo de alta velocidad consiguieron un CV más bajo que los que no recibieron *feedback*, reforzando lo observado para la misma variable en los estudios anteriores. Estos resultados concuerdan con las ventajas asociadas a este tipo de *feedback*, en cuanto que modela el movimiento y lo hace más preciso (Al-Abood et al., 2001; Scully y Carnegie, 1998; Williams, 1989). En las variables temporales, sobre todo del periodo de aproximación y del de apoyo, el grupo que recibió *feedback* visual en vídeo de alta velocidad mostró un CV más bajo. Esto sucedió independientemente de la edad del grupo. Este es un hecho remarcable, ya que los dos grupos eran expertos ejecutando la habilidad técnica del chute, coincidiendo con Teeling (2016), cuando indica que, ante este tipo de muestra, el visionado a cámara lenta afecta la desestabilización del patrón motor en menor medida que a los inexpertos. Solo en el grupo CSMVF, al compararlo con el grupo CNF en la variable LSTIME, el CV fue más elevado. El hecho de que las variables que muestran el CV más alto en los dos grupos que recibieron *feedback* visual en vídeo de alta velocidad fueran LSTIME y DTIME, puede indicar que esta desestabilización del patrón motor estuviera relacionada con la velocidad final del lanzamiento (Lees y Nolan, 2002). Este aspecto se manifiesta en un CV más alto en la variable VEL para CSMVF y TSMVF. Esto pudo ser debido a que el *feedback* visual en vídeo de alta velocidad

no fue capaz de estabilizar el patrón motor del periodo de interacción pie-pelota ni el del vuelo del balón (Estudio 1 y 2). Según Hughes et al. (2012), cada sujeto tiene su propia percepción de la precisión necesaria para realizar una habilidad motora compleja. Este aspecto pone en cuestión la bondad del visionado de un modelo experto ante la utilidad del autovisionado. Lees et al. (2010) indican que, debido a la corta duración del periodo de interacción, las habilidades técnicas del sujeto que realiza el golpeo son determinantes en la relación final velocidad-precisión. Por tanto, se puede observar, tal y como indican Rosenbaum et al. (1996) y Weigelt et al. (2006), que por mucho que los participantes buscaran encontrar la ejecución más eficaz de la habilidad técnica del chute, esta dependiera en exceso de sus capacidades motoras ejecutando la habilidad técnica del chute en los dos periodos mencionados. Periodos muy cortos de tiempo, sobre todo el de interacción, en los que el *feedback* visual en vídeo de alta velocidad, a pesar de visualizarse a través de un enfoque de atención externo que guía la habilidad motora compleja para conseguir el objetivo, no ayudó a estabilizar el patrón motor en ninguno de los grupos (Wulf, Shea et al., 2010). La diferencia del CV que hubo en LSTIME, DTIME y en VEL entre CSMVF y CNF y TSMVF y TNF, pudiendo haber sido aumentada por el enfoque de atención externo que se utilizó, el cual no es tan propicio para los niños (Emanuel et al., 2008), refuerza que los niños y los adolescentes abordan de manera diferente la realización de habilidades motoras complejas (Ruitenbergh et al., 2013).

Atendiendo a lo especificado, se puede concluir que el *feedback* visual en vídeo de alta velocidad, aplicado a través de un aprendizaje observacional que combine *feedback* visual en vídeo y práctica física a través de la autoobservación, tiene un efecto agudo positivo, aunque

no significativo, en el rendimiento del chute combinando ACC y VEL (TSCORE) durante la fase práctica (Estudio 1, 2 y 3) y la retención (Estudio 2), independientemente de la edad. No obstante, el *feedback* visual en vídeo a velocidad real en niños obtiene mejor rendimiento en la fase de retención que el *feedback* visual en vídeo de alta velocidad (Estudio 2). Esto, unido a la desestabilización del patrón motor presente en todas las variables de todos los estudios, realza la necesidad de seguir investigando para esclarecer la aplicabilidad de este tipo de *feedback* para el aprendizaje motor. Es esencial llevar a cabo investigaciones complementarias basadas en muestras más amplias y sesiones de práctica física más largas. Además, en estas investigaciones futuras debe evaluarse la transferencia resultante y aplicarse a otros grupos de participantes.

---

## CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES

Las conclusiones de la tesis se han estructurado por capítulos. Estas refieren los elementos más destacados de cada uno. A continuación, se describen una serie de recomendaciones prácticas para aplicar el *feedback* visual en vídeo de alta velocidad. Finalmente, se enumeran posibles líneas de investigación futuras para seguir profundizando en el conocimiento del efecto de este tipo de *feedback* en el aprendizaje motor.

### 8.1. Del Capítulo 1

- La funcionalidad del *feedback* es diferente según la teoría de aprendizaje motor. Es destacable que a pesar de la diferente concepción que tienen las teorías referenciadas de como ocurre el aprendizaje, el *feedback* siempre aparece y tiene un cometido importante en la asimilación de la habilidad motora.
- En las teorías del aprendizaje motor del modelo de procesamiento de la información, el *feedback* es esencial para que se lleve a cabo el aprendizaje de una habilidad motora.
- El *feedback* en el aprendizaje motor según la psicología ecológica pierde relevancia en pro de la práctica física.
- La perspectiva basada en la motivación da al *feedback* un rol relevante, sobre todo si este es positivo, pues incrementa las expectativas, favoreciendo el aprendizaje motor.

## 8.2. Del Capítulo 2

- El sistema de las neuronas espejo frontoparietal es concebido como un sistema de aprendizaje basado en el *feedback*, ya que la información que se transfiere de las áreas visuales a las áreas motoras no es un programa motor detallado, sino un prototipo de la habilidad motora a realizar.
- El aprendizaje motor emergente, fruto del aprendizaje observacional, depende de la interacción entre la cantidad de información transmitida mediante la imagen, el tipo de habilidad motora que se quiere aprender y el modelo utilizado como referencia. La mínima expresión de cada uno de estos factores parece ser la combinación más relevante para el aprendizaje a través de *feedback* visual en vídeo.
- El *feedback* extrínseco puede ser verbal y no verbal. El segundo caso engloba la modalidad visual, auditiva y táctil, pudiéndose ofrecer al aprendiz de manera multimodal.
- El enfoque de atención externo favorece el aprendizaje motor más que el enfoque de atención interno. Esta realidad implica dar *feedback* enfocado al objetivo de la habilidad motora, en vez de *feedback* enfocado a la ejecución.
- El conocimiento del resultado refuerza la finalidad conseguida por la habilidad. Su aporte tiene más impacto en el aprendizaje motor que el conocimiento de la ejecución.
- No ha existido una línea continuista del estudio del *feedback* visual en vídeo. Existen muchos planteamientos distintos para verificar el aprendizaje en las habilidades motoras de diferentes deportes. El *feedback* visual en vídeo a velocidad real ha sido más

investigado que el *feedback* visual en vídeo a cámara lenta, mostrando, al mismo tiempo, mejoras más significativas sin alterar el *timing* de ejecución.

### 8.3. Del Capítulo 3

- No existe una definición exacta de habilidad motora. Los matices que abarca permiten contemplar su conceptualización y clasificación desde una gran multitud de puntos de vista. Estos atienden al contexto, al tipo de habilidad motora y al aprendiz.
- La complejidad de la habilidad motora viene determinada por la percepción del sujeto que la realiza.
- Las habilidades motoras complejas propias del deporte son habilidades motoras específicas expresadas a través de las habilidades técnicas de cada modalidad.
- El chute es la habilidad técnica más relevante del fútbol. El más investigado es el lanzamiento de penalti. El rendimiento resultante expresado en velocidad y precisión de la habilidad técnica del chute depende del movimiento equilibrado de las variables biomecánicas que lo componen.

### 8.4. Del Capítulo 4

- La cantidad de práctica física realizando la habilidad técnica del chute, intentando que fuese preciso y potente, influenciada por el *feedback* visual en vídeo de alta velocidad,

produce en los adolescentes un efecto agudo en el aprendizaje motor que no es estadísticamente significativo en el rendimiento de la habilidad motora compleja. Sin embargo, sí que produce un *small* y *likely* efecto positivo en B1-5 y en la OVERALL TSCORE cuando se analizan los SWC.

- La misma cantidad de práctica física junto al *feedback* visual en vídeo de alta velocidad en adolescentes, no estabiliza el movimiento de la habilidad técnica del chute. No se obtienen diferencias estadísticamente significativas para ninguna variable biomecánica que muestre una perturbación del patrón motor baja a favor de este grupo. No obstante, sí que muestra un efecto *likely* en la estabilización del patrón motor del chute en el periodo de aproximación en el tiempo del último paso y en el periodo de apoyo en el ángulo sagital de la cadera, en el ángulo sagital del tobillo y en el ángulo frontal de la cadera.

## 8.5. Del Capítulo 5

- El efecto agudo en el aprendizaje motor del *feedback* visual en vídeo de alta velocidad no es estadísticamente significativo en el rendimiento del chute en niños. Pese a eso, manifiesta un TSCORE superior en la fase práctica, que no se corrobora en la fase de retención, donde el *feedback* visual en vídeo a velocidad real obtiene mejores resultados.
- En niños, dar *feedback* visual en vídeo de alta velocidad mientras intentan realizar un chute que combine precisión y velocidad, no estabiliza el patrón motor de la habilidad. A pesar de esto, sí que hay diferencias significativas en el CV entre grupos. El grupo

que recibe *feedback* visual en vídeo de alta velocidad obtiene el CV más alto en el último paso del periodo de aproximación, variable relevante en la velocidad del lanzamiento. No sucede lo mismo para el ángulo de la cadera del periodo de apoyo, donde tiene el CV más bajo, variable clave en la precisión.

- El *feedback* visual en vídeo a velocidad real en niños es el que estabiliza más el patrón motor. Las variables temporales de la habilidad técnica del chute, asociadas a la velocidad de ejecución, muestran un CV semejante en las tres fases del test en este grupo.
- Recibir *feedback* visual en vídeo favorece el rendimiento y la estabilización del CV, más que no recibirlo en estas edades. El TSCORE fue peor y el CV del patrón motor de la habilidad técnica del chute menos estable en el grupo que no recibió *feedback* que el obtenido por el resto de los grupos.

## 8.6. Del Capítulo 6

- El efecto agudo del *feedback* visual en vídeo de alta velocidad en el aprendizaje motor de la habilidad técnica del chute es estadísticamente significativo en el factor grupo para el TSCORE entre adolescentes y niños. Los dos grupos, al recibir este tipo de *feedback*, han obtenido mejor TSCORE total y TSCORE por bloque al compararse entre grupos de la misma edad.
- El grupo de adolescentes ha obtenido mejor TSCORE que el grupo de niños, sin tener en cuenta el *feedback* visual en vídeo recibido. Sin embargo, la diferencia en el

TSCORE entre niños con y sin *feedback* y adolescentes con y sin *feedback* es favorable al grupo de los niños. Este aspecto denota que los niños han logrado mejores prestaciones en la habilidad técnica del chute al recibir *feedback* visual en vídeo de alta velocidad que los adolescentes.

- El efecto agudo en el aprendizaje motor del *feedback* visual en vídeo de alta velocidad ha mostrado diferencias significativas en el CV de las variables temporales entre grupos. En el tiempo de aproximación y en el tiempo de descenso, el grupo de niños sin *feedback* ha obtenido un CV más alto que el grupo de niños con *feedback*, mientras que en el tiempo del último paso y en la velocidad del lanzamiento ha sido al revés. No ha habido esta disparidad en el grupo de adolescentes. La heterogeneidad mostrada del CV en los niños indica que el *feedback* visual en vídeo de alta velocidad ha desestabilizado el patrón motor más en este grupo que en los adolescentes.
- Los adolescentes y los niños que han recibido *feedback* visual en vídeo de alta velocidad atienden a parámetros diferentes del patrón motor para realizar un chute que combine velocidad y precisión. Los primeros han obtenido el CV más alto en la variable correspondiente al tiempo de descenso de la pierna de impacto con el balón y los segundos en el tiempo del último paso. Ambas variables tienen influencia directa en la velocidad del chute, aspecto reflejado en que los adolescentes y los niños que han recibido *feedback* visual en vídeo de alta velocidad han obtenido un CV más elevado en esta variable. El *feedback* visual en vídeo de alta velocidad ha distorsionado la ejecución de la habilidad técnica del chute, provocando lanzamientos de un gran rango de velocidades.

- El efecto agudo en el aprendizaje motor del *feedback* visual en vídeo depende de la experiencia de la muestra realizando la habilidad motora compleja.

## 8.7. Aplicaciones prácticas

Teniendo en cuenta los resultados y las conclusiones de la tesis, se detallan una serie de recomendaciones prácticas para la utilización del *feedback* visual en vídeo en el aprendizaje motor de una habilidad técnica del fútbol.

- El entrenador debería tener en cuenta el *feedback* visual en vídeo en la planificación del entrenamiento del aprendiz, ya que el aprendizaje observacional suele favorecer el aprendizaje motor por encima de la práctica física sola o la utilización de instrucciones verbales para aportar el *feedback* (Maslovat et al., 2010). Por eso, se sugiere que los ejercicios de entrenamiento combinen eficientemente la práctica física y el *feedback* de las distintas modalidades empleadas en pro de la intervención pedagógica del entrenador y el aprendizaje del aprendiz.
- Escoger correctamente las imágenes parece ser importante para utilizar el aprendizaje observacional a través del *feedback* visual en vídeo. El comportamiento motor ha de ser eficiente y eficaz, por eso es aconsejable que el mensaje se centre en el sujeto, pues no existe una respuesta óptima estándar. El entrenador debería intentar alinearse con las expectativas del aprendiz, ya que estas están íntimamente ligadas con su motivación,

aspecto relacionado con el aprendizaje motor (Wulf y Lewthwaite, 2016). Conocerlo puede ayudar a edificar la intervención.

- El *feedback* visual en vídeo debería mostrar el efecto final del movimiento para incrementar el aprendizaje motor (Breslin et al., 2009; Hodges et al., 2006). Parece ser que esta información visual cualitativa adquiere mayor impacto si la frecuencia de visionado es baja y muestra el conocimiento del resultado (Badets y Blandin, 2004; Badets et al., 2006). Por esta razón, se sugiere que la imagen ofrecida al atleta comprenda toda la habilidad motora, sin focalizarse únicamente en la ejecución. El entrenador debería utilizar el *feedback* en cada situación en la que el aprendiz resuelva el problema planteado utilizando el contenido técnico practicado como medio para conseguir la finalidad establecida por el ejercicio.
- El vídeo debería reseñar habilidades motoras de éxito mediante *feedback* autocontrolado positivo a través de un enfoque de atención externo (Wulf y Lewthwaite, 2016). Por eso es aconsejable que el entrenador deje que el aprendiz dirija su proceso de aprendizaje, respetando su demanda del *feedback*. Al parecer, lo debe recibir cuando él lo solicite. Esto suele permitir que el aprendiz extrapole la información, razonando lo sucedido en base a su experiencia.
- Visualizar a un modelo de una destreza semejante (Meaney et al., 2005) y mediante la técnica del automodelado (Clark y Ste-Marie, 2007; Oñate et al., 2005) suele acelerar el aprendizaje. Es aconsejable que el entrenador seleccione habilidades técnicas realizadas por el aprendiz que está realizando la práctica física para dar *feedback* visual mediante el vídeo. En caso de entrenar en grupo, este podría mostrar a más de un sujeto

si el nivel de pericia es semejante. No es recomendable visualizar un vídeo de un modelo experto.

- Las habilidades mostradas en el vídeo deberían ser conocidas por el sujeto para que pueda entender y asociar la información observada con la ejecución (Calvo-Merino et al., 2004). El vídeo sirve de soporte para contextualizar la situación indicada. Por eso, se sugiere que el entrenador no muestre habilidades que el aprendiz no sea capaz de hacer.
- Todo indica que la velocidad de visionado del vídeo al ofrecer el *feedback* repercute en la ejecución de la habilidad motora por parte del aprendiz. El *feedback* visual en vídeo a cámara lenta tiene tendencia a favorecer más el aprendizaje motor al ejecutante experto que al novato (Teeling, 2016). La edad del ejecutante parece ser que no es una variable que impida su uso, pues tiene mayor repercusión en el rendimiento en edades tempranas, siempre que el ejecutante sea experto en la habilidad técnica.
- La modalidad del *feedback* visual en vídeo de alta velocidad puede alterar el patrón motor de la habilidad técnica. El rendimiento inmediato conseguido en la práctica con su uso es alto; no obstante, disminuye cuando no está presente. El *feedback* visual en vídeo a velocidad real suele mostrar la tendencia inversa. Todo hace indicar que, aplicarlos, obtiene más beneficio que no utilizar *feedback* visual en vídeo. Por eso, se recomienda utilizar el *feedback* visual en vídeo como herramienta de soporte en el aprendizaje del fútbol.
- El *feedback* visual en vídeo de alta velocidad debería complementarse con otro tipo de *feedback*. La dinámica de los ejercicios debe hacer emerger comportamientos

autónomos, eficientes y eficaces, en pro de las características del sujeto. El objetivo estipulado, el cual se suele asociar a los conocimientos procedimentales y declarativos de los contenidos técnicos y tácticos propios que este debe conocer, se aconseja que sirvan al entrenador de guía para vislumbrar el entorno de práctica física. El mensaje transmitido debería ayudar a crear la emergencia decisional y comportamental. Para ello, en el ejercicio, el *feedback* verbal y el *feedback* visual en vídeo se sugiere que transmitan un mensaje común.

- La tecnología utilizada para ofrecer el *feedback* visual en vídeo se aconseja que sea capaz de ofrecer diferentes ópticas de la ejecución (Wilson, 2008). La velocidad de reproducción es una estrategia más a la disposición del entrenador para potenciar la información transmitida mediante el uso del *feedback* visual en vídeo de alta velocidad.

## 8.8. Futuras líneas de investigación

La utilidad del vídeo como medio para dar *feedback* de la habilidad motora a través del aprendizaje observacional debe continuar desarrollándose. Sus efectos han de concretarse en más circunstancias para revelar las ventajas que aporta al aprendizaje motor. Las líneas de investigación sugeridas después del trabajo realizado son:

- Comprobar los efectos a medio término en el proceso de aprendizaje motor que tienen las modalidades de *feedback* visual en vídeo empleadas.

- Observar los efectos a medio término en el proceso de aprendizaje motor y ver la influencia de la modalidad de *feedback* extrínseco en la temporalidad de estos.
- Analizar la relación que se establece entre los efectos agudos y a medio término de cada modalidad de *feedback* visual en vídeo sobre el aprendizaje motor de las habilidades motoras complejas a alta velocidad.
- Comparar el efecto agudo y a medio término de cada modalidad de *feedback* visual en vídeo ante habilidades motoras complejas a alta velocidad simples, seriadas y continuas.
- Discriminar las diferencias individuales de los individuos de la muestra en función del perfil cognitivo y motor para analizar quiénes pueden ser *responders* y quiénes no del *feedback* visual en vídeo. Determinar la relación que puede existir para obtener beneficio con los efectos de las modalidades de *feedback* visual en vídeo empleadas.
- Analizar los efectos agudos y a medio término de la frecuencia de visionado según la modalidad del *feedback* visual en vídeo empleada en el aprendizaje observacional de una habilidad motora compleja a alta velocidad.

---

---

## REFERENCIAS

- Adalbjornsson, C., Fischman, M. y Rudisill, M. (2008). The end-state comfort effect in young children. *Research Quarterly for exercise and sport*, 79(1), 36-41.
- Adams, J. (1971). A closed-loop theory of motor learning. *Journal of motor behavior*, 3(2), 111-150.
- Adams, J. (1987). Historical review and appraisal of research on the learning, retention, and transfer of human motor skills. *Psychological bulletin*, 101(1), 41.
- Al-Abood, S., Davids, K., Bennett, S., Ashford, D. y Marin, M. (2001). Effects of manipulating relative and absolute motion information during observational learning of an aiming task. *Journal of Sports Sciences*, 19(7), 507-520.
- Amara, S., Mkaouer, B., Nassib, S., Chaaben, H., Hachana, Y. y Ben Salah, F. (2015). Effect of Video Modeling Process on Teaching/Learning Hurdle Clearance Situations on Physical Education Students. *Advances in Physical Education*, 5(04), 225.
- Andersen, T. y Dörge, H. (2011). The influence of speed of approach and accuracy constraint on the maximal speed of the ball in soccer kicking. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 21(1), 79-84.
- Aniss, M. (2016). *The impact of technology in sport*. Hampshire: Raintree.
- Araujo, D., Davids, K. y Hristovski, R. (2006). The ecological dynamics of decision making in sport. *Psychology of sport and exercise*, 7(6), 653-676.

- 
- Asai, T., Carré, M., Akatsuka, T. y Haake, S. (2002). The curve kick of a football I: impact with the foot. *Sports Engineering*, 5(4), 183-192.
- Ashford, D., Bennett, S. y Davids, K. (2006). Observational modeling effects for movement dynamics and movement outcome measures across differing task constraints: a meta-analysis. *Journal of motor behavior*, 38(3), 185-205.
- Ashton-Miller, J., Wojtys, E., Huston, L. y Fry-Welch, D. (2001). Can proprioception really be improved by exercises? *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*, 9(3), 128-136.
- Atienza, F., Balaguer, I. y García-Merita, M. (1998). Video modeling and imaging training on performance of tennis service of 9 to 12 year-old children. *Perceptual and Motor Skills*, 87(2), 519-529.
- Badets, A. y Blandin, Y. (2004). The role of knowledge of results frequency in learning through observation. *Journal of Motor Behavior*, 36(1), 62-70.
- Badets, A. y Blandin, Y. (2005). Observational learning: Effects of bandwidth knowledge of results. *Journal of Motor Behavior*, 37(3), 211-216.
- Badets, A., Blandin, Y., Wright, D. y Shea, C. (2006). Error detection processes during observational learning. *Research quarterly for exercise and sport*, 77(2), 177-184.
- Balch, K. (1999). *High Frame Rate Electronic Imaging*. San Diego: Motion Video Products.
- Balsalobre-Fernández, C., Glaister, M. y Lockey, R. (2015). The validity and reliability of an iPhone app for measuring vertical jump performance. *Journal of sports sciences*, 33(15), 1574-9.
- Barclay, C., Cutting, J. y Kozlowski, L. (1978). Temporal and spatial factors in gait perception

- 
- that influence gender recognition. *Perception & psychophysics*, 23(2), 145-152.
- Bartlett, R. (1999). *Sports biomechanics: reducing injury and improving performance*. Londres: Routledge.
- Barzouka, K., Bergeles, N. y Hatziharistos, D. (2007). Effect of simultaneous model observation and self-modeling of volleyball skill acquisition. *Perceptual and motor skills*, 104(1), 32-42.
- Batalla A. (2005). *Retroalimentación y aprendizaje motor: influencia de las acciones realizadas de forma previa a la recepción del conocimiento de los resultados en el aprendizaje y la retención de habilidades motrices* (tesis doctoral). Universitat de Barcelona, España.
- Batterham, A. y Hopkins, W. (2005). Making meaningful inferences about magnitudes. *Sportscience*, 9, 6-14.
- Batterham, A. y Hopkins, W. (2006). Making meaningful inferences about magnitudes. *International journal of sports physiology and performance*, 1(1), 50-57.
- Baudry, L., Leroy, D. y Chollet, D. (2006). The effect of combined self-and expert-modelling on the performance of the double leg circle on the pommel horse. *Journal of Sports Sciences*, 24(10), 1055-1063.
- Bernstein, N. (1967) *The Coordination and Regulation of Movements*. Oxford: Pergamon Press.
- Bertram, C., Marteniuk, R. y Guadagnoli, M. (2007). On the use and misuse of video analysis. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 2(1), 37-46.
- Black, C. y Wright, D. (2000). Can observational practice facilitate error recognition and

- 
- movement production? *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 71(4), 331-339.
- Black, C., Wright, D., Magnuson, C. y Brueckner, S. (2005). Learning to detect error in movement timing using physical and observational practice. *Research quarterly for exercise and sport*, 76(1), 28-41.
- Blandin, Y., Toussaint, L. y Shea, C. (2008). Specificity of practice: Interaction between concurrent sensory information and terminal feedback. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 34(4), 994.
- Bo, J., Contreras-Vidal, J., Kagerer, F. y Clark, J. (2006). Effects of increased complexity of visuo-motor transformations on children's arm movements. *Human movement science*, 25(4), 553-567.
- Bosco, C. (1995). Evaluation and control of basic and specific muscle behavior. *Exercise & Society Journal of Sport Science*, 1(10), 10-29.
- Bosco, C., Luhtanen, P. y Komi, P. (1983). A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 50(2), 273-282.
- Boyer, E., Miltenberger, R., Batsche, C. y Fogel, V. (2009). Video modeling by experts with video feedback to enhance gymnastics skills. *Journal of applied behavior analysis*, 42(4), 855.
- Breslin, G., Hodges, N., Williams, M., Curran, W. y Kremer, J. (2005). Modelling relative motion to facilitate intra-limb coordination. *Human Movement Science*, 24(3), 446-463.
- Breslin, G., Hodges, N., Williams, M., Kremer, J. y Curran, W. (2006). A comparison of intra-

- and inter-limb relative motion information in modelling a novel motor skill. *Human movement science*, 25(6), 753-766.
- Breslin, G., Hodges, N. y Williams, M. (2009). Effect of information load and time on observational learning. *Research quarterly for exercise and sport*, 80(3), 480-490.
- Buccino, G., Lui, F., Canessa, N., Patteri, I., Lagravinese, G., Benuzzi, F., Porro, C. y Rizzolatti, G. (2004). Neural circuits involved in the recognition of actions performed by nonconspecifics: An fMRI study. *Journal of cognitive neuroscience*, 16(1), 114-126.
- Buccino, G., Vogt, S., Ritzl, A., Fink, G., Zilles, K., Freund, H. y Rizzolatti, G. (2004). Neural circuits underlying imitation learning of hand actions: an event-related fMRI study. *Neuron*, 42(2), 323-334.
- Bunker, L., Shearer, J. y Hall, E. (1976). Video-taped feedback and children's learning to flutter kick. *Perceptual and Motor Skills*, 43(2), 371-374.
- Buscà, B., Alique, D., Salas, C., Hilenó, R., Peña, J., Morales, J. y Bantulà, J. (2015). Relationship between agility and jump ability in amateur beach volleyball male players. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 15(3), 1102-1113.
- Buscà, B., Moras, G., Peña, J. y Rodríguez-Jiménez, S. (2012). The influence of serve characteristics on performance in men's and women's high-standard beach volleyball. *Journal of sports sciences*, 30(3), 269-276.
- Caljouw, S., Van der Kamp, J. y Savelsbergh, G. (2004). Timing of goal-directed hitting: Impact requirements change the information-movement coupling. *Experimental Brain Research*, 155(2), 135-144.

- Caljouw, S., Van der Kamp, J. y Savelsbergh, G. (2004). Catching optical information for the regulation of timing. *Experimental Brain Research*, 155(4), 427-438.
- Calvo-Merino, B., Glaser, D., Grèzes, J., Passingham, R. y Haggard, P. (2004). Action observation and acquired motor skills: an FMRI study with expert dancers. *Cerebral cortex*, 15(8), 1243-1249.
- Calvo-Merino, B., Grèzes, J., Glaser, D., Passingham, R. y Haggard, P. (2006). Seeing or doing? Influence of visual and motor familiarity in action observation. *Current biology*, 16(19), 1905-1910.
- Carr, L., Iacoboni, M., Dubeau, M., Mazziotta, J. y Lenzi, G. (2003). Neural mechanisms of empathy in humans: a relay from neural systems for imitation to limbic areas. *Proceedings of the national Academy of Sciences*, 100(9), 5497-5502.
- Caspers, S., Zilles, K., Laird, A. y Eickhoff, S. (2010). ALE meta-analysis of action observation and imitation in the human brain. *Neuroimage*, 50(3), 1148-1167.
- Cassidy, T., Stanley, S. y Bartlett, R. (2006). Reflecting on video feedback as a tool for learning skilled movement. *International Journal of Sports Science and Coaching*, 1(3), 279-288.
- Cattaneo, L. y Rizzolatti, G. (2009). The mirror neuron system. *Archives of neurology*, 66(5), 557-560.
- Chiviawsky, S., De Medeiros, F., Kaefer, A., Wally, R. y Wulf, G. (2008). Self-controlled feedback in 10-year-old children: higher feedback frequencies enhance learning. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 79(1), 122-127.
- Chiviawsky, S. y Wulf, G. (2007). Feedback after good trials enhances learning. *Research*

*Quarterly for Exercise and Sport*, 78(2), 40-47.

Chiviakowsky, S., Wulf, G., Lewthwaite, R. y Campos, T. (2012). Motor learning benefits of self-controlled practice in persons with Parkinson's disease. *Gait & Posture*, 35(4), 601-605.

Chiviakowsky, S., Wulf, G., Wally, R. y Borges, T. (2009). Knowledge of results after good trials enhances learning in older adults. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 80(3), 663-668.

Chow, J. y Knudson, D. (2011). Use of deterministic models in sports and exercise biomechanics research. *Sports Biomechanics*, 10(3), 219-233.

Clark, J. (2005). From the beginning: a developmental perspective on movement and mobility. *Quest*, 57(1), 37-45.

Clark, J. (2007). On the problem of motor skill development. *Journal of Physical Education, Recreation & Dance*, 78(5), 39-44.

Clark, J. y Metcalfe, J. (2002). The mountain of motor development: A metaphor. *Motor development: Research and reviews*, 2(163-190).

Clark, S. y Ste-Marie, D. (2007). The impact of self-as-a-model interventions on children's self-regulation of learning and swimming performance. *Journal of sports sciences*, 25(5), 577-586.

Cross, E., Hamilton, A. y Grafton, S. (2006). Building a motor simulation de novo: observation of dance by dancers. *Neuroimage*, 31(3), 1257-1267.

Davlin-Pater, C. (2010). The effects of visual information and perceptual style on static and

- 
- dynamic balance. *Motor Control*, 14(3), 362-370.
- Dessing, J., Wijdenes, L., Peper, C. y Beek, P. J. (2009). Visuomotor transformation for interception: catching while fixating. *Experimental brain research*, 196(4), 511-527.
- Di Pellegrino, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V. y Rizzolatti, G. (1992). Understanding motor events: a neurophysiological study. *Experimental brain research*, 91(1), 176-180.
- Dörge, H., Andersen, T., Sørensen, H. y Simonsen, E. (2002). Biomechanical differences in soccer kicking with the preferred and the non-preferred leg. *Journal of sports sciences*, 20(4), 293-299.
- Dowrick, P. (1999). A review of self modeling and related interventions. *Applied and Preventive Psychology*, 8(1), 23-39.
- Elliott, D., Helsen, W. y Chua, R. (2001). A century later: Woodworth's (1899) two-component model of goal-directed aiming. *Psychological bulletin*, 127(3), 342.
- Emanuel, M., Jarus, T. y Bart, O. (2008). Effect of focus of attention and age on motor acquisition, retention, and transfer: a randomized trial. *Physical Therapy*, 88(2), 251-260.
- Emmen, H., Wesseling, L., Bootsma, R., Whiting, H. y Van Wieringen, P. (1985). The effect of video-modelling and video-feedback on the learning of the tennis service by novices. *Journal of Sports Sciences*, 3(2), 127-138.
- Famose, J. (1990). *Apprentissage moteur et difficulté de la tâche*. París: Insep.
- Fitts, P. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of experimental psychology*, 47(6), 381.
- Fitts, P. y Posner, M. (1968). *El rendimiento humano*. Alcoy: Marfil.

- Ford, P., Hodges, N. y Williams, A. (2007). Examining action effects in the execution of a skilled soccer kick by using erroneous feedback. *Journal of motor behavior*, 39(6), 481-490.
- Franks, I. y Miller, G. (1986). Eyewitness testimony in sport. *Journal of sport behavior*, 9(1), 38.
- Franks, I. y Miller, G. (1991). Training coaches to observe and remember. *Journal of sports sciences*, 9(3), 285-297.
- Gazienko, O. y Fejgenberg, I. (2000). Dal modello del futuro desiderato alla fisiologia dell'attività. *Scuola Dello Sport*, 19(50), 58-70.
- Gentile, A. (1972). A working model of skill acquisition with application to teaching. *Quest*, 17(1), 3-23.
- Goh, H., Kantak, S. y Sullivan, K. (2012). Movement pattern and parameter learning in children: Effects of feedback frequency. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 83(2), 346-352.
- Goodale, M. (2011). Transforming vision into action. *Vision research*, 51(13), 1567-1587.
- Groom, N. (2012). *Towards an understanding of the use of video-based performance analysis in the coaching process* (tesis doctoral). Universidad de Loughborough, Reino Unido.
- Grosbras, M., Beaton, S. y Eickhoff, S. (2012). Brain regions involved in human movement perception: A quantitative voxel-based meta-analysis. *Human brain mapping*, 33(2), 431-454.
- Guadagnoli, M., Holcomb, W. y Davis, M. (2002). The efficacy of video feedback for learning

- the golf swing. *Journal of sports sciences*, 20(8), 615-622.
- Guss-West, C. y Wulf, G. (2016). Attentional focus in classical ballet: a survey of professional dancers. *Journal of Dance Medicine & Science*, 20(1), 23-29.
- Haake, S. (2009). The impact of technology on sporting performance in Olympic sports. *Journal of sports sciences*, 27(13), 1421-1431.
- Haken, H., Kelso, J. y Bunz, H. (1985). A theoretical model of phase transitions in human hand movements. *Biological cybernetics*, 51(5), 347-356.
- Hall, E. y Erffmeyer, E. (1983). The effect of visuo-motor behavior rehearsal with videotaped modeling on free throw accuracy of intercollegiate female basketball players. *Journal of Sport Psychology*, 5(3), 343-346.
- Han, J., Anson, J., Waddington, G. y Adams, R. (2014). Sport attainment and proprioception. *International journal of Sports Science & Coaching*, 9(1), 159-170.
- Hansen, S. (2010). Determining the temporal limits of a visual sample for visual regulation. *Journal of motor behavior*, 42(2), 107-110.
- Hansen, S., Cullen, J. y Elliott, D. (2005). Self-selected visual information during discrete manual aiming. *Journal of motor behavior*, 37(5), 343-347.
- Hazen, A., Johnstone, C., Martin, G. y Srikameswaran, S. (1990). A videotaping feedback package for improving skills of youth competitive swimmers. *The Sport Psychologist*, 4(3), 213-227.
- Hebert, E. y Landin, D. (1994). Effects of a learning model and augmented feedback on tennis skill acquisition. *Research quarterly for exercise and sport*, 65(3), 250-257.

- Hennig, E., Althoff, K. y Hoemme, A. (2009). Soccer footwear and ball kicking accuracy. *Footwear Science*, 1(1), 85-87.
- Henry, F. y Rogers, D. (1960). Increased response latency for complicated movements and a “memory drum” theory of neuromotor reaction. *Research Quarterly. American Association for Health, Physical Education and Recreation*, 31(3), 448-458.
- Hird, J., Landers, D., Thomas, J. y Horan, J. (1991). Physical practice is superior to mental practice in enhancing cognitive and motor task performance. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 13(3), 281-293.
- Hodges, N. (2017). Observations on action-observation research: An autobiographical retrospective across the past two decades. *Kinesiology Review*, 6(3), 240-260.
- Hodges, N. y Coppola, T. (2015). What we think we learn from watching others: The moderating role of ability on perceptions of learning from observation. *Psychological research*, 79(4), 609-620.
- Hodges, N., Hayes, S., Breslin, G. y Williams, M. (2005). An evaluation of the minimal constraining information during observation for movement reproduction. *Acta Psychologica*, 119(3), 264-282.
- Hodges, N., Hayes, S., Eaves, D., Horn, R. y Williams, M. (2006). End-point trajectory matching as a method for teaching kicking skills. *International Journal of Sport Psychology*, 37(2/3), 230-247.
- Hodges, N. y Williams, M. (2007). Current status of observational learning research and the role of demonstrations in sport. *Journal of Sports Sciences*, 25(5), 495-496.

- Hodges, N., Williams, M., Hayes, S. y Breslin, G. (2007). What is modelled during observational learning? *Journal of sports sciences*, 25(5), 531-545.
- Holmes, P. y Calmels, C. (2008). A neuroscientific review of imagery and observation use in sport. *Journal of motor behavior*, 40(5), 433-445.
- Hooyman, A., Wulf, G. y Lewthwaite, R. (2014). Impacts of autonomy-supportive versus controlling instructional language on motor learning. *Human Movement Science*, 36, 190-198.
- Hopkins, W., Marshall, S., Batterham, A. y Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and science in sports and exercise*, 41, 3-12.
- Horn, R., Williams, M. y Scott, M. (2002). Learning from demonstrations: the role of visual search during observational learning from video and point-light models. *Journal of Sports Sciences*, 20(3), 253-269.
- Horn, R., Williams, M., Scott, M. y Hodges, N. (2005). Visual search and coordination changes in response to video and point-light demonstrations without KR. *Journal of Motor Behavior*, 37(4), 265-274.
- Hughes, M. (2004). Notational analysis—a mathematical perspective. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 4(2), 97-139.
- Hughes, M. y Franks, I. (2015). *Essentials of performance analysis in sport*. Abingdon: Routledge.
- Isableu, B., Ohlmann, T., Crémieux, J. y Amblard, B. (1997). Selection of spatial frame of

- 
- reference and postural control variability. *Experimental Brain Research*, 114(3), 584-589.
- Ishii, H., Yanagiya, T., Naito, H., Katamoto, S. y Maruyama, T. (2012). Theoretical study of factors affecting ball velocity in instep soccer kicking. *Journal of applied biomechanics*, 28(3), 258-270.
- Isokawa, M. (1988). A biomechanical analysis of the instepkick motion in soccer. En T. Reilly, A. Lees, K. Davids, y W. J. Murphy (Eds.), *Science and football* (pp. 449–455). London: E & FN Spon.
- James, P. (1971). Video feedback in learning beginning trampoline. *Perceptual and motor skills*, 32(2), 669-670.
- Katis, A., Giannadakis, E., Kannas, T., Amiridis, I., Kellis, E. y Lees, A. (2013). Mechanisms that influence accuracy of the soccer kick. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 23(1), 125-131.
- Kellis, E. y Katis, A. (2007). Biomechanical characteristics and determinants of instep soccer kick. *Journal of sports science & medicine*, 6(2), 154.
- Kelso, J. y Jeka, J. (1992). Symmetry breaking dynamics of human multilimb coordination. *Journal of experimental psychology: human perception and performance*, 18(3), 645.
- Kelso, J. (1994). The informational character of self-organized coordination dynamics. *Human Movement Science*, 13(3-4), 393-413.
- Kelso, J. (2009). Coordination dynamics. En R. Meyers (Eds.), *Encyclopedia of Complexity and Systems Science* (pp. 1–41). New York: Springer.
- Kennedy, A., Bhattacharjee, A., Hansen, S., Reid, C. y Tremblay, L. (2015). Online vision as a

- 
- function of real-time limb velocity: another case for optimal windows. *Journal of motor behavior*, 47(6), 465-475.
- Khan, M., Elliott, D., Coull, J., Chua, R. y Lyons, J. (2002). Optimal control strategies under different feedback schedules: Kinematic evidence. *Journal of Motor Behavior*, 34(1), 45-57.
- Klapp, S. (1995). Motor response programming during simple choice reaction time: The role of practice. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*, 21(5), 1015.
- Knapp, B. (1963). *Skill in sport: the attainment of proficiency*. Londres: Routledge.
- Knudson, D. y Morrison, C. (1996). An integrated qualitative analysis of overarm throwing. *Journal of Physical Education, Recreation & Dance*, 67(6), 31-36.
- Lago, A., Lopez, V. y Fernández del Olmo, M. (2013). Mirror neuron system and observational learning: Behavioral and neurophysiological evidence. *Behavioural brain research*, 248, 104-113.
- Lai, Q. y Shea, C. (1998). Generalized motor program (GMP) learning: Effects of reduced frequency of knowledge of results and practice variability. *Journal of motor behavior*, 30(1), 51-59.
- Lai, Q. y Shea, C. (1999). Bandwidth knowledge of results enhances generalized motor program learning. *Research quarterly for exercise and sport*, 70(1), 79-83.
- Laird, P. y Waters, L. (2008). Eyewitness recollection of sport coaches. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 8(1), 76-84.

- 
- Lee, D. (2009). A theory of visual control of braking based on information about time to collision. *Perception*, 38(6), A43–A65.
- Lee Hughes, C., Seegelke, C. y Schack, T. (2012). The influence of initial and final precision on motor planning: individual differences in end-state comfort during unimanual grasping and placing. *Journal of Motor Behavior*, 44(3), 195-201.
- Lee, R., Wang, Z., Heo, M., Ross, R., Janssen, I. y Heymsfield, S. (2000). Total body skeletal muscle mass: development and cross validation of anthropometric prediction models. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 72(3), 796-803.
- Lee, V. (2014). Combining High-Speed Cameras and Stop-Motion Animation Software to Support Students' Modeling of Human Body Movement. *Journal of Science Education and Technology*, 24(2-3), 178-191.
- Lees, A. (1999). Biomechanical assessment of individual sports for improved performance. *Sports Medicine*, 28(5), 299-305.
- Lees, A. (2002). Technique analysis in sports: a critical review. *Journal of sports sciences*, 20(10), 813-828.
- Lees, A., Asai, T., Andersen, T., Nunome, H. y Sterzing, T. (2010). The biomechanics of kicking in soccer: A review. *Journal of sports sciences*, 28(8), 805-817.
- Lees, A. y Nolan, L. (1998). The biomechanics of soccer: a review. *Journal of sports sciences*, 16(3), 211-234.
- Lees, A. y Nolan, L. (2002). Three-dimensional kinematic analysis of the instep kick under speed and accuracy conditions. En W. Spinks, T Reilly, y A. Murphy (Eds.). *Science and*

- 
- Football IV* (pp. 16–21). London y New York: Routledge.
- Liebermann, D., Katz, L., Hughes, M., Bartlett, R., McClements, J. y Franks, I. M. (2002). Advances in the application of information technology to sport performance. *Journal of sports sciences*, 20(10), 755-769.
- Lloyd, M., Saunders, T., Bremer, E. y Tremblay, M. (2014). Long-term importance of fundamental motor skills: A 20-year follow-up study. *Adapted physical activity quarterly*, 31(1), 67-78.
- Lubans, D., Morgan, P., Cliff, D., Barnett, L. y Okely, A. (2010). Fundamental movement skills in children and adolescents. *Sports medicine*, 40(12), 1019-1035.
- Magill, R. (2011). *Motor learning and control: Concepts and applications*. New York: McGraw-Hill.
- Marchant, D., Clough, P. y Crawshaw, M. (2007). The effects of attentional focusing strategies on novice dart throwing performance and their task experiences. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 5(3), 291-303.
- Marrero, G., Izquierdo, J. y Rodríguez, M. (1995). Los modelos explicativos del aprendizaje motor. *El Guiniguada*, 6(7), 303–325.
- Maslovat, D., Hayes, S., Horn, R. y Hodges, N. (2010). Motor learning through observation. *Vision and goal-directed movement: Neurobehavioral perspectives*, 315-340.
- McLeod, P. y Dienes, Z. (1993). Running to catch the ball. *Nature*, 362(6415), 23.
- McLeod, P. y Dienes, Z. (1996). Do fielders know where to go to catch the ball or only how to get there? *Journal of experimental psychology: human perception and performance*, 22(3),

---

531.

McLeod, P., Reed, N. y Dienes, Z. (2001). Toward a unified fielder theory: What we do not yet know about how people run to catch a ball. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27(6), 1347.

McLeod, P., Reed, N. y Dienes, Z. (2003). Psychophysics: How fielders arrive in time to catch the ball. *Nature*, 426(6964), 244.

McLeod, P., Reed, N. y Dienes, Z. (2006). The generalized optic acceleration cancellation theory of catching. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32(1), 139.

Meaney, K., Griffin, L. y Hart, M. (2005). The effect of model similarity on girls' motor performance. *Journal of teaching in physical education*, 24(2), 165-178.

Menickelli, J. (2004). The effectiveness of videotape feedback in sport: Examining cognitions in a self-controlled learning environment (tesis doctoral). Western Carolina University, Cullowhee, USA.

Merchant, H. y Georgopoulos, A. (2006). Neurophysiology of perceptual and motor aspects of interception. *Journal of Neurophysiology*, 95(1), 1-13.

Mohagheghi, A., Moraes, R. y Patla, A. (2004). The effects of distant and on-line visual information on the control of approach phase and step over an obstacle during locomotion. *Experimental Brain Research*, 155(4), 459-468.

Molenberghs, P., Cunnington, R. y Mattingley, J. (2012). Brain regions with mirror properties: a meta-analysis of 125 human fMRI studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*,

- 
- 36(1), 341-349.
- Montero, B. (2006). Proprioception as an aesthetic sense. *The Journal of Aesthetics and Art Criticism*, 64(2), 231-242.
- Moras, G., Peña, J., Rodríguez, S., Vallejo, L., Tous, J. y Mujika, I. (2008). A comparative study between serve mode and speed and its effectiveness in a high-level volleyball tournament. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 48(1), 31.
- Morin, J. y Sève, P. (2011). Sprint running performance: comparison between treadmill and field conditions. *European journal of applied physiology*, 111(8), 1695-1703.
- Moriuchi, T., Iso, N., Sagari, A., Ogahara, K., Kitajima, E., Tanaka, K., Tabira, T. y Higashi, T. (2014). Excitability of the primary motor cortex increases more strongly with slow-than with normal-speed presentation of actions. *PloS one*, 9(12), e114355.
- Morris, T., Spittle, M. y Perry, C. (2004). Imagery in Sport. En T. Morris y J. Summers (Eds.), *Sport psychology: Theory, applications and issues* (pp. 344-387). John Wiley & Sons.
- Nagasawa, Y., Demura, S., Matsuda, S., Uchida, Y. y Demura, T. (2011). Effect of differences in kicking legs, kick directions, and kick skill on kicking accuracy in soccer players. *Journal of Quantitative Analysis in Sports*, 7(4).
- Njororai, W. (2013). Analysis of goals scored in the 2010 world cup soccer tournament held in South Africa. *Journal of Physical Education and Sport*, 13(1), 6.
- Nunome, H., Ikegami, Y., Kozakai, R., Apriantono, T. y Sano, S. (2006). Segmental dynamics of soccer instep kicking with the preferred and non-preferred leg. *Journal of sports sciences*, 24(05), 529-541.

- Nunome, H., Shinkai, H. y Ikegami, Y. (2012). Ball impact kinematics and dynamics in soccer kicking. En *ISBS-Conference Proceedings Archive* (Vol. 1).
- Oña, A., Martínez, M., Moreno, F. y Ruiz, L. (1999). *Control y aprendizaje motor*. Madrid: Síntesis.
- Oñate, J., Guskiewicz, K., Marshall, S., Giuliani, C., Yu, B. y Garrett, W. (2005). Instruction of jump-landing technique using videotape feedback: altering lower extremity motion patterns. *The American journal of sports medicine*, 33(6), 831-842.
- Oullier, O. y Kelso, J. (2009). Social coordination, from the perspective of coordination dynamics. En R. Meyers (Eds.) *Encyclopedia of complexity and systems science* (pp. 8198–8213). New York: Springer.
- Padullés, J. (2011). *Valoración de los parámetros mecánico de carrera. Desarrollo de un nuevo instrumento de medición* (tesis doctoral). Universitat de Barcelona, España.
- Parlebas, P. (1981). *Contribución al léxico en las ciencias de la acción motriz*. París: Insep.
- Pascua, L., Wulf, G. y Lewthwaite, R. (2015). Additive benefits of external focus and enhanced performance expectancy for motor learning. *Journal of Sports Sciences*, 33(1), 58-66.
- Patla, A. (1997). Understanding the roles of vision in the control of human locomotion. *Gait & Posture*, 5(1), 54-69.
- Patla, A. y Greig, M. (2006). Any way you look at it, successful obstacle negotiation needs visually guided on-line foot placement regulation during the approach phase. *Neuroscience letters*, 397(1-2), 110-114.
- Payton, C. y Bartlett, R. (2007). *Biomechanical evaluation of movement in sport and exercise:*

- 
- the British Association of Sport and Exercise Sciences guide*. London and New York: Routledge.
- Payton, C. (2008). Motion analysis using video. En C. Payton y R. Bartlett (Eds.), *Biomechanical Evaluation of Movement in Sport and Exercise: The British Association of Sport and Exercise Sciences Guidelines* (pp. 8–32). London and New York: Routledge.
- Penman, K. (1969). Relative effectiveness of teaching beginning tumbling with and without an instant replay videotape recorder. *Perceptual and motor skills*, 28(1), 45-46.
- Porter, J., Wu, W., Crossley, R., Knopp, S. y Campbell, O. (2015). Adopting an external focus of attention improves sprinting performance in low-skilled sprinters. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(4), 947-953.
- Pozo, I. (2002). *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Madrid: Morata, SL.
- Prinz, J. (2012). *Beyond human nature: How culture and experience shape our lives*. Reino Unido: Penguin.
- Rhoads, M. (2012). *Learning to Spike in Volleyball with Verbal and Visually-enhanced Feedback* (tesis doctoral). University of Northern Colorado, Greeley, USA.
- Riemann, B. y Lephart, S. (2002). The sensorimotor system, part II: the role of proprioception in motor control and functional joint stability. *Journal of athletic training*, 37(1), 80.
- Riera, J. (1989). *Fundamentos del aprendizaje de la técnica y la táctica deportivas*. Barcelona: Inde.
- Riera, J. (1995). Estrategia, táctica y técnica deportivas. *Apunts: educación física y deportes*, (39), 45-56.

- 
- Riera, J. (2001). Habilidades deportivas, habilidades humanas. *Apunts. Educación física y deportes*, 2(64), 46-53.
- Riera, J. (2005). *Habilidades en el deporte*. Barcelona: Inde.
- Rikli, R. y Smith, G. (1980). Videotape feedback effects on tennis serving form. *Perceptual and Motor Skills*, 50(3-1), 895-901.
- Rizzolatti, G. (2005). The mirror neuron system and its function in humans. *Anatomy and embryology*, 210(5), 419-421.
- Rizzolatti, G., Cattaneo, L., Fabbri-Destro, M. y Rozzi, S. (2014). Cortical mechanisms underlying the organization of goal-directed actions and mirror neuron-based action understanding. *Physiological reviews*, 94(2), 655-706.
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V. y Fogassi, L. (1996). Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cognitive brain research*, 3(2), 131-141.
- Rizzolatti, G., Fogassi, L. y Gallese, V. (2001). Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action. *Nature reviews neuroscience*, 2(9), 661.
- Rohbanfard, H. y Proteau, L. (2011). Learning through observation: a combination of expert and novice models favors learning. *Experimental brain research*, 215(3-4), 183-197.
- Rosenbaum, D., Chapman, K., Weigelt, M., Weiss, D. y Van der Wel, R. (2012). Cognition, action, and object manipulation. *Psychological bulletin*, 138(5), 924.
- Rosenbaum, D., Van Heugten, C. y Caldwell, G. (1996). From cognition to biomechanics and back: The end-state comfort effect and the middle-is-faster effect. *Acta psychologica*, 94(1), 59-85.

- Rosenqvist, O. y Skans, O. (2015). Confidence enhanced performance? The causal effects of success on future performance in professional golf tournaments. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 117, 281-295.
- Rougier, P. (2003). Visual feedback induces opposite effects on elementary centre of gravity and centre of pressure minus centre of gravity motions in undisturbed upright stance. *Clinical Biomechanics*, 18(4), 341-349.
- Ruitenbergh, M., Abrahamse, E. y Verwey, W. (2013). Sequential motor skill in preadolescent children: The development of automaticity. *Journal of experimental child psychology*, 115(4), 607-623.
- Ruiz, L. y Arruza, J. (2005). *El proceso de tomas de decisión en el deporte*. Barcelona: Paidós.
- Sakadjian, A., Panchuk, D. y Pearce, A. (2014). Kinematic and kinetic improvements associated with action observation facilitated learning of the power clean in Australian footballers. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(6), 1613-1625.
- Samozino, P., Rabita, G., Dorel, S., Slawinski, J., Peyrot, N., Saez de Villarreal, E. y Morin, J. (2016). A simple method for measuring power, force, velocity properties, and mechanical effectiveness in sprint running. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 26(6), 648-58.
- Santos, L., Moraes, R. y Patla, A. (2010). Visual feedforward control in human locomotion during avoidance of obstacles that change size. *Motor control*, 14(4), 424-439.
- Savelsbergh, G. y Davids, K. (2002). «Keeping the eye on the ball»: the legacy of John Whiting (1929-2001) in sport science. *Journal of sports sciences*, 20(2), 79-82.

- 
- Scheidt, R., Conditt, M., Secco, E. y Mussa-Ivaldi, F. (2005). Interaction of visual and proprioceptive feedback during adaptation of human reaching movements. *Journal of Neurophysiology*, 93(6), 3200-3213.
- Schmid, M., Casabianca, L., Bottaro, A. y Schieppati, M. (2008). Graded changes in balancing behavior as a function of visual acuity. *Neuroscience*, 153(4), 1079-1091.
- Schmidt, R. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological review*, 82(4), 225.
- Schmidt, R. (1991). Motor learning principles for physical therapy. En M. J. Lister (Eds.), *Contemporary Management of Motor Control Problems: Proceedings of the II STEP Conference* (pp. 49–63). Foundation for physical therapy, Alexandria.
- Schmidt, R. (2003). Motor schema theory after 27 years: Reflections and implications for a new theory. *Research quarterly for exercise and sport*, 74(4), 366-375.
- Schmidt, R. y Lee, T. (2011). *Motor Control and Learning*. Champaign, IL: Human kinetics.
- Schmidt, R. y Wrisberg, C. (2008). *Motor learning and performance: A situation-based learning approach*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Schmidt, R., Zelaznik, H., Hawkins, B., Frank, J. y Quinn Jr, J. (1979). Motor-output variability: a theory for the accuracy of rapid motor acts. *Psychological review*, 86(5), 415.
- Schmidt, R., Carello, C. y Turvey, M. (1990). Phase transitions and critical fluctuations in the visual coordination of rhythmic movements between people. *Journal of experimental psychology: human perception and performance*, 16(2), 227.
- Scholz, J. y Kelso, J. (1990). Intentional switching between patterns of bimanual coordination

- 
- depends on the intrinsic dynamics of the patterns. *Journal of motor behavior*, 22(1), 98-124.
- Scott, M., Van der Kamp, J., Savelsbergh, G., Oudejans, R. y Davids, K. (2004). Object rotation effects on the timing of a hitting action. *Research quarterly for exercise and sport*, 75(2), 130-137.
- Scully, D. y Carnegie, E. (1998). Observational learning in motor skill acquisition: A look at demonstrations. *The Irish Journal of Psychology*, 19(4), 472-485.
- Scully, D. y Newell, K. (1985). Observational-learning and the acquisition of motor-skills-toward a visual-perception perspective. *Journal of human movement studies*, 11(4), 169-186.
- Semenick, D. (1990). Test and measurements: The T- test. *Nat Strength Cond Assoc J.*, 12(1), 36-37.
- Shaffer, D. y McBeath, M. (2002). Baseball outfielders maintain a linear optical trajectory when tracking uncatchable fly balls. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 28(2), 335.
- Shaffer, D., McBeath, M., Roy, W. y Krauchunas, S. (2003). A linear optical trajectory informs the fielder where to run to the side to catch fly balls. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29(6), 1244.
- Shea, C. y Wulf, G. (1999). Enhancing motor learning through external-focus instructions and feedback. *Human Movement Science*, 18(4), 553-571.
- Shea, C., Wulf, G. y Whltacre, C. (1999). Enhancing training efficiency and effectiveness

- 
- through the use of dyad training. *Journal of motor behavior*, 31(2), 119-125.
- Sheppard, J., Young, W., Doyle, T., Sheppard, T. y Newton, R. (2006). An evaluation of a new test of reactive agility and its relationship to sprint speed and change of direction speed. *Journal of science and medicine in sport / Sports Medicine Australia*, 9(4), 342-9.
- Sherwood, D. y Lee, T. (2003). Schema theory: critical review and implications for the role of cognition in a new theory of motor learning. *Research quarterly for exercise and sport*, 74(4), 376-382.
- Shmuelof, L., Krakauer, J. y Mazzoni, P. (2012). How is a motor skill learned? Change and invariance at the levels of task success and trajectory control. *Journal of neurophysiology*, 108(2), 578-594.
- Short, M. y Cauraugh, J. (1999). Precision hypothesis and the end-state comfort effect. *Acta psychologica*, 100(3), 243-252.
- Short, S., Tenute, A. y Feltz, D. (2005). Imagery use in sport: mediational effects for efficacy. *Journal of sports sciences*, 23(931318504), 951-960.
- Shum, H. y Komura, T. (2005). Tracking the translational and rotational movement of the ball using high-speed camera movies. En *IEEE International Conference on Image Processing 2005* (Vol. 3, p. III-1084). IEEE.
- Siedentop, D. (1994). *Sport education: Quality PE through positive sport experiences*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Sigrist, R., Rauter, G., Riener, R. y Wolf, P. (2013). Augmented visual, auditory, haptic, and multimodal feedback in motor learning: A review. *Psychonomic bulletin & review*, 20(1),

---

21-53.

Singer, R. (1986). *El aprendizaje de las acciones motrices en el deporte*. Barcelona: Hispano Europea.

Solà, J. (2010). *Inteligencia táctica deportiva: entenderla y entrenarla*. Barcelona: Inde.

Southard, D. (2011). Attentional Focus and Control Parameter: Effect on Throwing Pattern and Performance. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 82(December), 652-666.

Sozzi, S., Monti, A., De Nunzio, A., Do, M. y Schieppati, M. (2011). Sensori-motor integration during stance: time adaptation of control mechanisms on adding or removing vision. *Human movement science*, 30(2), 172-189.

Starek, J. y McCullagh, P. (1999). The effect of self-modeling on the performance of beginning swimmers. *The Sport Psychologist*, 13(3), 269-287.

Ste-Marie, D., Vertes, K., Law, B. y Rymal, A. (2013). Learner-controlled self-observation is advantageous for motor skill acquisition. *Frontiers in psychology*, 3, 556.

Sterzing, T., Lange, J., Wächtler, T., Müller, C. y Milani, T. (2009). Velocity and accuracy as performance criteria for three different soccer kicking techniques. En A. J. Harrison, R. Anderson, y I. Kenny (Eds.). En *International Conference on Biomechanics in Sports*. Congreso llevado a cabo Limerick, Irlanda.

Sullivan, K., Kantak, S. y Burtner, P. (2008). Motor learning in children: feedback effects on skill acquisition. *Physical therapy*, 88(6), 720-732.

Summers, J. (2004). A historical perspective on skill acquisition. *Skill acquisition in sport: Research, theory and practice*, 1-26.

- Teeling, B. (2016). *The role of slow and real time video modelling in expert and novice soccer players* (tesis doctoral no publicada). Universidad de Windsor, Canada.
- Teixeira, L. (1999). Kinematics of kicking as a function of different sources of constraint on accuracy. *Perceptual and Motor Skills*, 88(3), 785-789.
- Thibaut, J. y Toussaint, L. (2010). Developing motor planning over ages. *Journal of Experimental Child Psychology*, 105(1-2), 116-129.
- Tod, D., Marchant, D. y Andersen, M. (2007). Learning experiences contributing to service-delivery competence. *Sport Psychologist*, 21(3), 317.
- Todorov, E., Shadmehr, R. y Bizzi, E. (1997). Augmented feedback presented in a virtual environment accelerates learning of a difficult motor task. *Journal of motor behavior*, 29(2), 147-158.
- Torrents, C. (2005). *Teoría de los sistemas dinámicos y el entrenamiento deportivo* (tesis doctoral). Universitat de Barcelona, España.
- Tracey, S., Anderson, D., Hamel, K., Gorelick, M., Wallace, S. y Sidaway, B. (2012). Kicking performance in relation to balance ability over the support leg. *Human movement science*, 31(6), 1615-1623.
- Tremblay, L., Hansen, S., Kennedy, A. y Cheng, D. (2013). The utility of vision during action: multiple visuomotor processes? *Journal of motor behavior*, 45(2), 91-99.
- Tresguerres, J., Barreda, A. y Bernues, M. (2009). *Anatomía y fisiología del cuerpo humano*. Madrid: McGraw-Hill.
- Van Der Kamp, J. (2006). A field simulation study of the effectiveness of penalty kick strategies

- 
- in soccer: Late alterations of kick direction increase errors and reduce accuracy. *Journal of sports sciences*, 24(05), 467-477.
- Van Gog, T., Jarodzka, H., Scheiter, K., Gerjets, P. y Paas, F. (2009). Attention guidance during example study via the model's eye movements. *Computers in Human Behavior*, 25(3), 785-791.
- Van Wieringen, P., Emmen, H., Bootsma, R., Hoogesteger, M. y Whiting, H. (1989). The effect of video-feedback on the learning of the tennis service by intermediate players. *Journal of Sports Sciences*, 7(2), 153-162.
- Vogt, S. y Thomaschke, R. (2007). From visuo-motor interactions to imitation learning: behavioural and brain imaging studies. *Journal of sports sciences*, 25(5), 497-517.
- Wadman, W., Denier Van der Gon, J., Geuze, R. y Mol, C. (1979). Control of fast goal-directed arm movements. *Journal of Human Movement Studies*, 5(1), 3-17.
- Warren, W. (2006). The dynamics of perception and action. *Psychological review*, 113(2), 358.
- Weeks, D. y Kordus, R. (1998). Relative frequency of knowledge of performance and motor skill learning. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 69(3), 224-230.
- Weigelt, M., Kunde, W. y Prinz, W. (2006). End-state comfort in bimanual object manipulation. *Experimental Psychology*, 53(2), 143-148.
- Weigelt, M. y Schack, T. (2010). The development of end-state comfort planning in preschool children. *Experimental Psychology*, 57, 476-482.
- Wendelken, C., Baym, C., Gazzaley, A. y Bunge, S. (2011). Neural indices of improved attentional modulation over middle childhood. *Developmental Cognitive Neuroscience*,

- 
- 1(2), 175-186.
- Wickstrom, R. (1975). Developmental kinesiology: Maturation of basic motor patterns. *Exercise and sport sciences reviews*, 3(1), 163-192.
- Williams, J. (1989). Visual demonstration and movement production: Effects of timing variations in a model's action. *Perceptual and Motor Skills*, 68(3), 891-896.
- Wilson, B. (2008). Development in video technology for coaching. *Sports Technology*, 1(1), 34-40.
- Winter, D. A. (2005). *Biomechanics and motor control of human movement*. Nova Jersey: John Wiley & Sons.
- Wolpert, D., Diedrichsen, J. y Flanagan, J. (2011). Principles of sensorimotor learning. *Nature Reviews Neuroscience*, 12(12), 739.
- Wulf, G. (2007). Attentional focus and motor learning: A review of 10 years of research. *E-journal Bewegung und Training*, 1(2-3), 1-11.
- Wulf, G. (2013). Attentional focus and motor learning: A review of 15 years. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 6(1), 77-104.
- Wulf, G. (2016). Why did Tiger Woods shoot 82? A commentary on Toner and Moran (2015). *Psychology of Sport and Exercise*, 22, 337-338.
- Wulf, G. y Adams, N. (2014). Small choices can enhance balance learning. *Human movement science*, 38, 235-240.
- Wulf, G., Chiviawosky, S. y Cardozo, P. (2014). Additive benefits of autonomy support and enhanced expectancies for motor learning. *Human movement science*, 37, 12-20.

- 
- Wulf, G., Chiviawowsky, S. y Drews, R. (2015). External focus and autonomy support: Two important factors in motor learning have additive benefits. *Human movement science*, 40, 176-184.
- Wulf, G., Chiviawowsky, S., Schiller, E. y Ávila, L. (2010). Frequent external-focus feedback enhances motor learning. *Frontiers in Psychology*, 1(190), 1-7.
- Wulf, G. y Dufek, J. (2009). Increased jump height with an external focus due to enhanced lower extremity joint kinetics. *Journal of motor behavior*, 41(5), 401-409.
- Wulf, G., Hörger, M. y Shea, C. (1999). Benefits of blocked over serial feedback on complex motor skill learning. *Journal of motor behavior*, 31(1), 95-103.
- Wulf, G., Höß, M. y Prinz, W. (1998). Instructions for motor learning: Differential effects of internal versus external focus of attention. *Journal of motor behavior*, 30(2), 169-179.
- Wulf, G. y Lee, T. (1993). Contextual interference in movements of the same class: Differential effects on program and parameter learning. *Journal of motor behavior*, 25(4), 254-263.
- Wulf, G. y Lewthwaite, R. (2016). Optimizing performance through intrinsic motivation and attention for learning: The OPTIMAL theory of motor learning. *Psychonomic bulletin & review*, 23(5), 1382-1414.
- Wulf, G., McConnel, N., Gärtner, M. y Schwarz, A. (2002). Enhancing the learning of sport skills through external-focus feedback. *Journal of motor behavior*, 34(2), 171-182.
- Wulf, G. y Mornell, A. (2008). Insights about practice from the perspective of motor learning: a review. *Music Perform Res*, 2, 1-25.
- Wulf, G. y Prinz, W. (2001). Directing attention to movement effects enhances learning: A

- 
- review. *Psychonomic bulletin & review*, 8(4), 648-660.
- Wulf, G., Raupach, M. y Pfeiffer, F. (2005). Self-controlled observational practice enhances learning. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 76(1), 107-111.
- Wulf, G. y Shea, C. (2002). Principles derived from the study of simple skills do not generalize to complex skill learning. *Psychonomic bulletin & review*, 9(2), 185-211.
- Wulf, G., Shea, C. y Lewthwaite, R. (2010). Motor skill learning and performance: a review of influential factors. *Medical education*, 44(1), 75-84.
- Wulf, G., Shea, C. y Park, J. (2001). Attention and motor performance: Preferences for and advantages of an external focus. *Research quarterly for exercise and sport*, 72(4), 335-344.
- Wulf, G. y Su, J. (2007). An external focus of attention enhances golf shot accuracy in beginners and experts. *Research quarterly for exercise and sport*, 78(4), 384-389.
- Yiannis, M. (2014). Analysis of goals scored in the 2014 World Cup soccer tournament held in Brazil. *International Journal of Sport Studies*, 4(9), 1017-1026.
- Zachry, T., Wulf, G., Mercer, J. y Bezodis, N. (2005). Increased movement accuracy and reduced EMG activity as the result of adopting an external focus of attention. *Brain Research Bulletin*, 67(4), 304-309.
- Zanone, P. y Kelso, J. (1992). Evolution of behavioral attractors with learning: nonequilibrium phase transitions. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*, 18(2), 403.
- Zubiaur, M. (1996). *El feedback extrínseco en el aprendizaje de una respuesta motriz* (tesis)
-

doctoral). Universidad de Salamanca, España.

Zubiaur, M. (1998). El conocimiento de la ejecución. *European Journal of Human Movement*, (4), 97-111.

Zwicker, J., Missiuna, C., Harris, S. y Boyd, L. (2011). Brain activation associated with motor skill practice in children with developmental coordination disorder: an fMRI study. *International Journal of Developmental Neuroscience*, 29(2), 145-152.

Esta Tesis Doctoral ha sido defendida el día \_\_\_\_ d\_\_\_\_\_ de 201\_\_

En el Centro\_\_\_\_\_

de la Universidad Ramon Llull, ante el Tribunal formado por los Doctores y Doctoras  
abajo firmantes, habiendo obtenido la calificación:

Presidente/a

\_\_\_\_\_

Vocal

\_\_\_\_\_

Vocal \*

\_\_\_\_\_

Vocal \*

\_\_\_\_\_

Secretario/a

\_\_\_\_\_

Doctorando/a

\_\_\_\_\_

(\*): Sólo en el caso de tener un tribunal de 5 miembros